tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 58 nr. 3 1993

nederlands elektronica- en radiogenootschap

ISSN 03743853

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Correspondentie-adres: Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.
Gironummer 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en -verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.

Het genootschap is lid van de Convention of National Societies of Electrical Engineers of Western Europe (Eurel).

BESTUUR

LIDMAATSCHAP

Voor lidmaatschap wende men zich via het correspondentie-adres tot de secretaris.
Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt *f* 60,– per jaar.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt gemiddeld vijfmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs, die publicatie van hun onderzoek in het tijdschrift overwegen, wordt verzocht vroegtijdig contact op te nemen met de voorzitter of een lid van de redactiecommissie.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt *f* 60,–. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

REDACTIECOMMISSIE

ONDERWIJSCOMMISSIE

OCEAN: ZELF SEA-OF-GATES ONTWERPEN

Patrick Groeneveld – Paul Stravers
Technische Universiteit Delft
Faculteit Elektrotechniek

Abstract

OCEAN: designing your own sea-of-gates chip. Small companies may find it economically beneficial to replace a collection of standard chips on their printed circuit boards by a single *sea-of-gates* chip. In the past few years the costs of processing your own sea-of-gates chip has decreased significantly. At the same time, good and easy-to-use chip design software has been made available. A good example of such software is OCEAN. This is a freely available, well documented and combat proven design system for sea-of-gates. This article first explains what sea-of-gates technology is, and how it compares to off-the-shelf solutions. It then discusses what you can expect from OCEAN. Then the article shows how OCEAN actually assists you with the design of a sea-of-gates chip. Finally it presents some results and shows one of the 10 chips that where designed with OCEAN this year.

1. INLEIDING

Het is de afgelopen jaren steeds aantrekkelijker geworden voor kleine en middelgrote bedrijven om zelfontworpen chips in produkten toe te passen. De voordelen van zo'n *applikatie-specifieke* chip zijn legio.

1. Het is vrijwel onmogelijk om een zelfontworpen chip na te maken *(reversed engineering)*, waardoor u de concurrentie een stap voor kunt blijven.
2. Het produkt is onafhankelijk van de leverbaarheid van standaard-komponenten. Op dit moment (voorjaar 1993) is er bijvoorbeeld een TTL-crisis waardoor veel digitale chips nauwelijks leverbaar zijn.
3. Het aantal componenten op een printplaat kan drastisch worden teruggebracht. Het is bijvoorbeeld mogelijk om enkele honderden standaardchips te vervangen door een enkele zelfontworpen chip. Voordelen hiervan zijn
   (a) het produkt wordt veel kleiner;
   (b) het produkt wordt mechanisch minder kwetsbaar;
   (c) het produkt wordt beter testbaar;
   (d) het produkt wordt betrouwbaarder.
4. Bij voldoende groot volume zijn de produktiekosten van de chip lager dan de aanschafprijs van de losse komponenten. Soms kan het "break-even point" al bij 1000 stuks liggen, maar meestal ligt het bij een groter aantal.
5. Het produkt wordt minder gevoelig voor stoorsignalen uit de omgeving.
6. Voor digitale schakelingen geldt meestal dat ze op een chip veel sneller kunnen werken dan op een printplaat.

Waarom is het pas de laatste jaren aantrekkelijk geworden voor kleine bedrijven om applikatie-specifieke chips toe te toepassen? Daar zijn verschillende redenen voor aan te geven, bijvoorbeeld

1. De prijs voor het fabriceren van een chip is verder afgenomen;
2. Er is eenvoudig te bedienen software voor het ontwerpen van chips beschikbaar gekomen;
3. Er zijn snelle PC's en werkstations beschikbaar gekomen waar deze ontwerpsoftware op kan draaien;
4. De hogescholen en universiteiten hebben mensen afgeleverd die chips kunnen ontwerpen.

Aan de TU-Delft is de afgelopen drie jaar gewerkt aan een systeem dat het voor leken mogelijk maakt om zelf op een goedkope manier chips te ontwikkelen. De technologie die we daarvoor gebruiken heet *sea-of-gates.*

Een sea-of-gates chip wordt altijd in drie stappen gefabriceerd.

Waferproduktie

Een *waferfabrikant* produceert een grote hoeveelheid *wafers* en brengt daarop een transistorpatroon aan. Het transistorpatroon wordt meestal het *master image* of kortweg het *image* genoemd. Dit image is een "grondstof" voor sea-of-gates chips. Het dient als basis voor zeer veel *verschillende* sea-of-gates chips.

Chipontwerp

Een bedrijf ontwerpt zelf een schakeling en beeldt die af op het master image van de waferfabrikant. Zo'n afbeelding bestaat uit een metaalpatroon dat de transistoren van het image met elkaar verbindt, zodat de gewenste schakeling ontstaat.

Metalisatie

Het op deze wijze ontworpen metaalpatroon wordt naar de waferfabrikant gezonden om op een aantal wafers aangebracht te worden. Uit deze wafers worden vervolgens de chips gezaagd waarna ze in een behuizing worden afgemonteerd.

Het bedrijf dat zelf een schakeling ontwerpt voor een sea-of-gates chip kan uitsluitend gebruik maken van de transistoren die door de waferfabrikant in het image zijn aangebracht. Dit legt enige beperkingen op aan de ontwerper van de schakeling, maar daar staan zwaarwegende voordelen tegenover.

1. *Korte produktietijd.* Doordat de transistoren al op de wafer zijn aangebracht, hoeft alleen nog maar het metaal aan de wafer te worden toegevoegd om de gewenste chip te krijgen. Dit betekent een aanzienlijke reductie van het aantal processtappen in de chipfabriek.
2. *Lage produktiekosten bij klein volume.* De basis van een sea-of-gates chip is een wafer met een master image. De waferfabrikant kan dit image echter in grote hoeveelheden produceren omdat het als basis dient voor zeer veel verschillende schakelingen. Als gevolg hiervan kunnen de kosten per wafer laag zijn.

Het doel van dit artikel is tweeledig. Ten eerste wil het een inleiding geven in de manier waarop een elektronische schakeling kan worden afgebeeld op een sea-of-gates chip. Om dit te begrijpen is enige basiskennis van digitale elektronica nodig. Ten tweede wil dit artikel de mogelijkheden (en onmogelijkheden) beschrijven van het chipontwerpsysteem voor sea-

of-gates dat aan de TU-Delft werd ontwikkeld. De naam van dit systeem is OCEAN. OCEAN wordt op meer dan twintig plaatsen in Europa, Amerika, Azie en Australie gebruikt en er zijn op dit moment een tiental chips mee ontwikkeld. OCEAN is kosteloos verkrijgbaar en het draait op IBM compatible PC's en op Sun en Hewlett-Packard werkstations.

Dit artikel is als volgt georganiseerd. Paragraaf 2 gaat in op verschillende typen master images en behandelt hoe digitale komponenten op zo'n master image afgebeeld kunnen worden. Paragraaf 3 bespreekt welke eisen het OCEAN ontwerpsysteem aan z'n omgeving stelt en welke resultaten een chipontwerper van OCEAN mag verwachten. Paragraaf 4 gaat in op de ontwerpmethoden die OCEAN gebruikt om tot een werkende chip te komen. Tenslotte presenteert paragraaf 5 enkele resultaten en de konklusies.

2. DE GRONDBEGINSELEN VAN SEA-OF-GATES

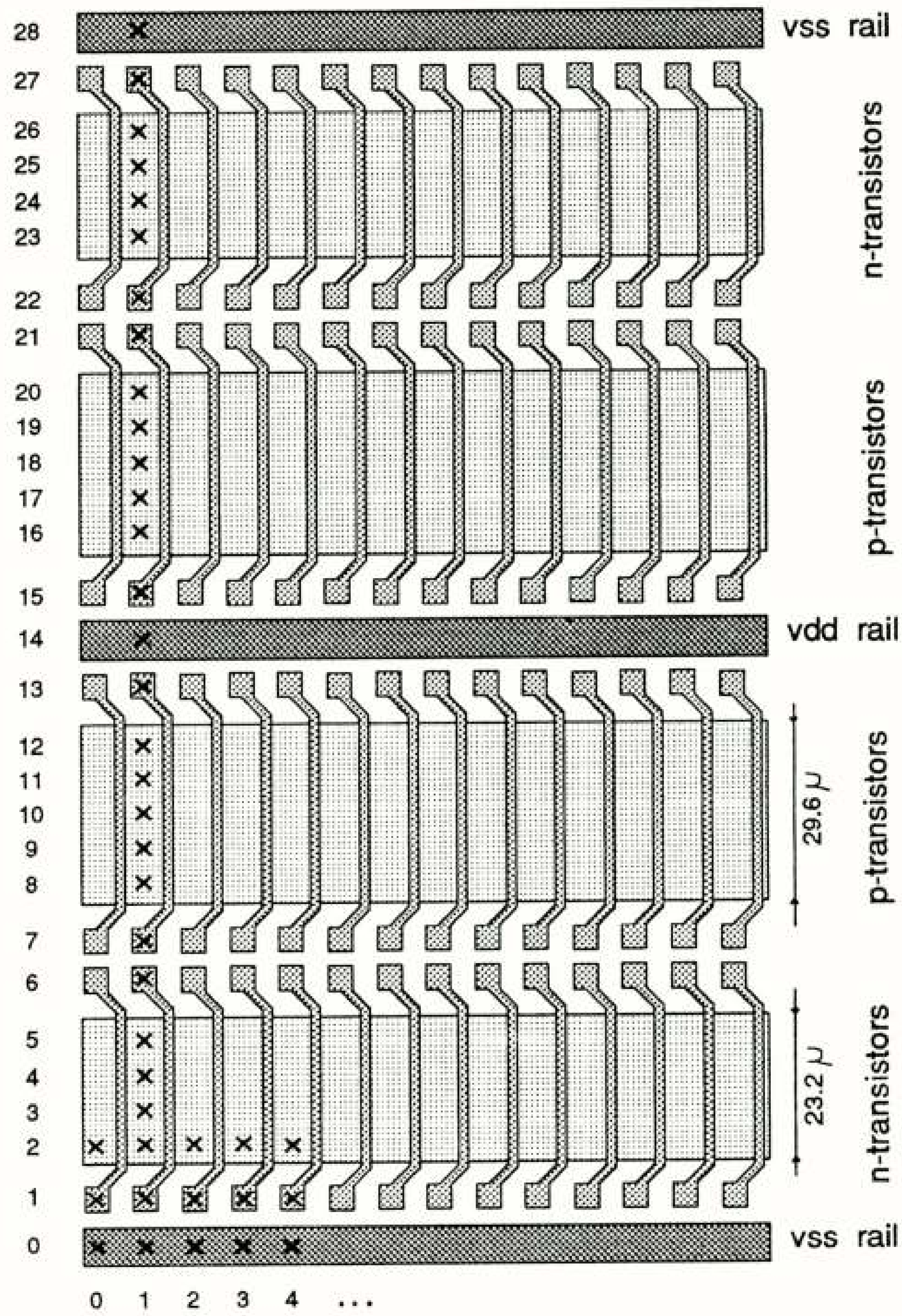
In de inleiding werd al beschreven hoe een sea-of-gates chip in drie stappen tot stand komt. Tijdens de *waferproduktie* fabriceert een waferfabrikant het master image. In het tweede stadium, *chipontwerp*, beeldt een ontwerper met behulp van de OCEAN software zijn schakeling af op het image. Het ontwerp van de chip is dan klaar en de ontwerper stuurt de metaalpatronen naar de waferfabrikant voor de *metalisatie* van het master image.

In deze paragraaf kijken we naar verschillende soorten master images en hoe die images gebruikt kunnen worden om schakelingen te realiseren. We roeren dit onderwerp aan om een zo goed mogelijk begrip te geven van de werking van een sea-of-gates chip. Echter, als je als ontwerper een schakeling op een sea-of-gates image afbeeldt, werk je bij voorkeur niet met transistors maar met poorten en flipflops. Die hoef je niet zelf te ontwerpen; in plaats daarvan gebruik je een *cell-library.* Zo'n cell-library bevat implementaties van veel gebruikte digitale en analoge komponenten die je kunt gebruiken zonder te weten hoe ze precies werken.

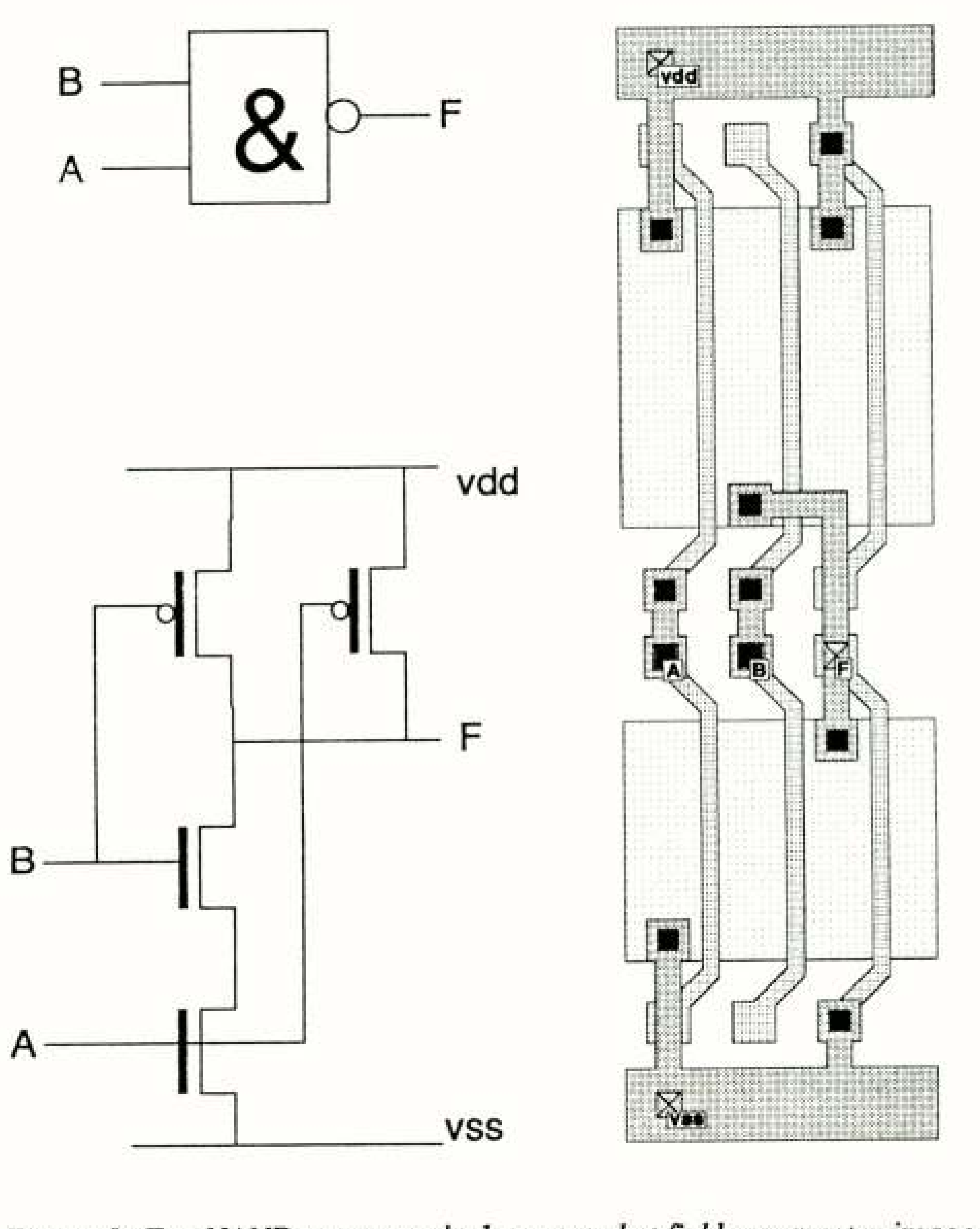
Een belangrijk kenmerk van een sea-of-gates image is de mogelijkheid tot herhaling in horizontale en vertikale richting. Figuur 1 toont het in Delft ontwikkelde *fishbone* image, genoemd naar z'n gelijkenis met een visgraat. Het bestaat uit een herhaling van rijen van nmos en pmos transistoren. De gate van een transistor ligt vertikaal en heeft twee aansluitflappen. Het "kanaal" van een transistor loopt horizontaal onder de gate door. Uit Figuur 1 blijkt duidelijk dat de transistorkanalen heel breed en heel kort zijn. Zulke afmetingen zijn gunstig om zeer snelle logika te maken. De zwarte kruisjes in de figuur geven de plaats aan waar de ontwerper metaalbanen mag neerleggen. We zien dus dat het mogelijk is om vier horizontale metaalbanen over een nmos-transistor te laten lopen, terwijl we vijf horizontale banen over een pmos transistor kunnen leggen.

Hoe ziet nu een eenvoudige NAND-poort er op het fishbone image uit? Zo'n poort bestaat uit twee nmos- en twee pmos-transistoren. Dit is getekend in Figuur 2. Rechts in de figuur zien we de layout van de NAND-poort: het master image met daarop aangebracht metaalsporen en *kontaktgaten* (in zwart). De kontaktgaten verbinden een metaalspoor met het onderliggende image. Zo zien we bijvoorbeeld (twee keer) in het midden van de layout hoe de gate van een pmos-transistor met de gate van een nmos-transistor is verbonden via een klein vertikaal metaalbaantje en twee kontaktgaten.

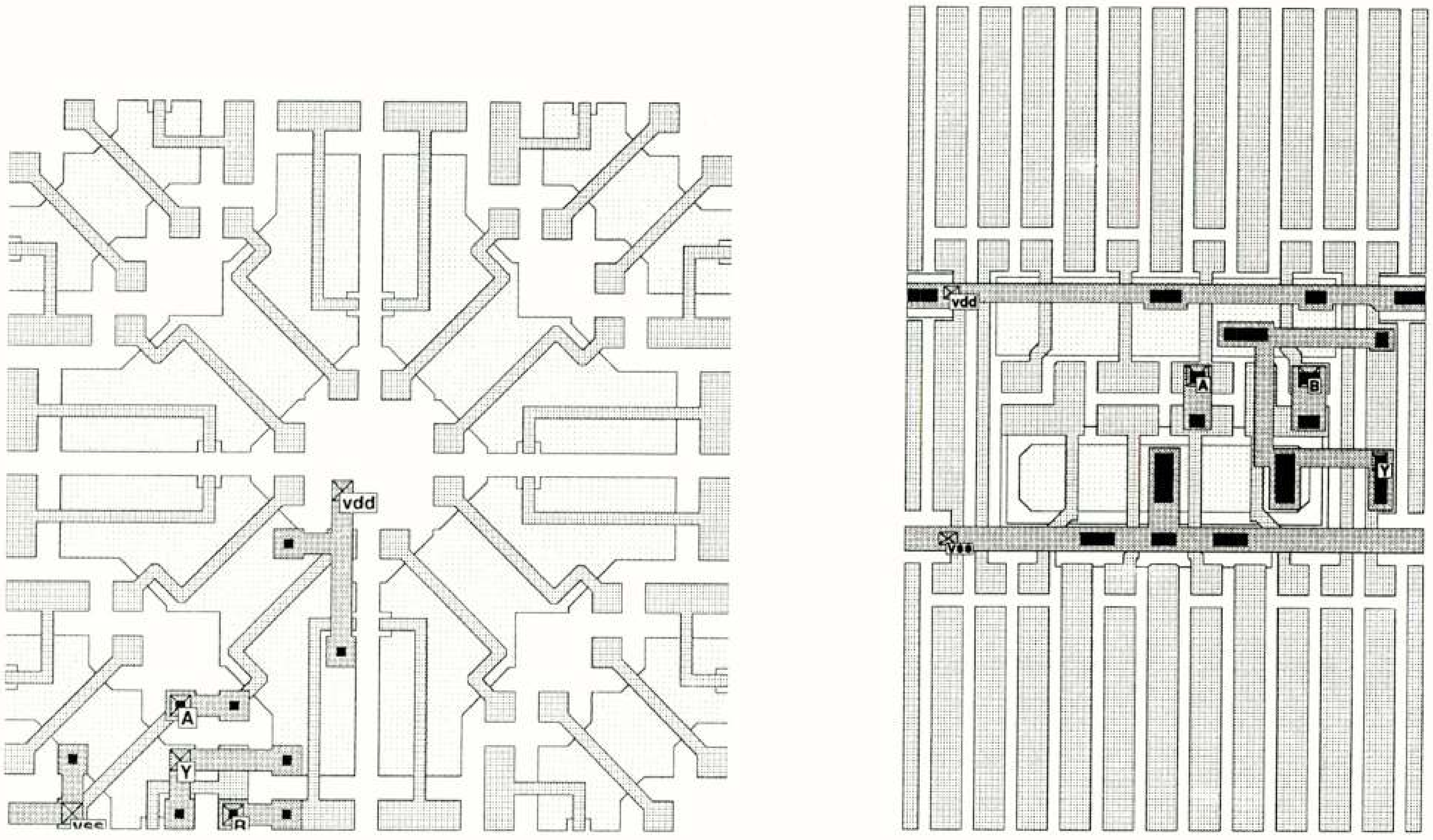
In de layout van de NAND-poort valt ook op dat we niet *vier* maar *zes* transistoren gebruiken. De twee transistoren aan de rechterkant (een nmos en een pmos) geleiden nooit stroom! Dit komt doordat de gate van de nmos met vss is verbonden en de gate van de pmos met vdd. Wat is het nut van deze transistoren? Het antwoord op deze vraag wordt pas duidelijk als we *twee* NAND-poorten vlak naast elkaar op het image willen leggen. Als de layout slechts vier transistoren zou bevatten, dan zou de uitgang F van de NAND aan de linkerkant worden kortgesloten door de vss-verbinding in de NAND aan de rechterkant. We hebben dus *isolatietransistoren* nodig om de twee NAND-poorten elektrisch van elkaar te scheiden.



Figuur 1: Het fishbone master image.



Figuur 2: Een NAND-poort en z'n layout op het fishbone master image.



Figuur 3: NAND-poort op het octagon image (links) en het pm25 image (rechts).

Naast het fishbone master image zijn er nog veel meer images ontwikkeld. Figuur 3 laat er twee zien. Links staat het *octagon* image van de Universiteit Twente. Dit master image kenmerkt zich door een hoge graad van symmetrie. Rechts in de figuur staat het pm25 gate-array image van Philips. Dit image bevat relatief weinig transistoren en laat veel ruimte vrij voor het bedraden van de schakeling.

3. HET OCEAN ONTWERPSYSTEEM

Tijdens het ontwerpen van een chip doorloopt de ontwerper drie stadia van abstractie. Hij beschrijft eerst de *functie* van z'n chip, daarna het *netwerk* en uiteindelijk de *layout*.

Functioneel

De functionele beschrijving van de chip definieert uitsluitend *wat* de chip moet doen. Bijvoorbeeld "er gaan twee 16-bit getallen in, die worden vermenigvuldigd en dan komt er een 32-bit resultaat uit".

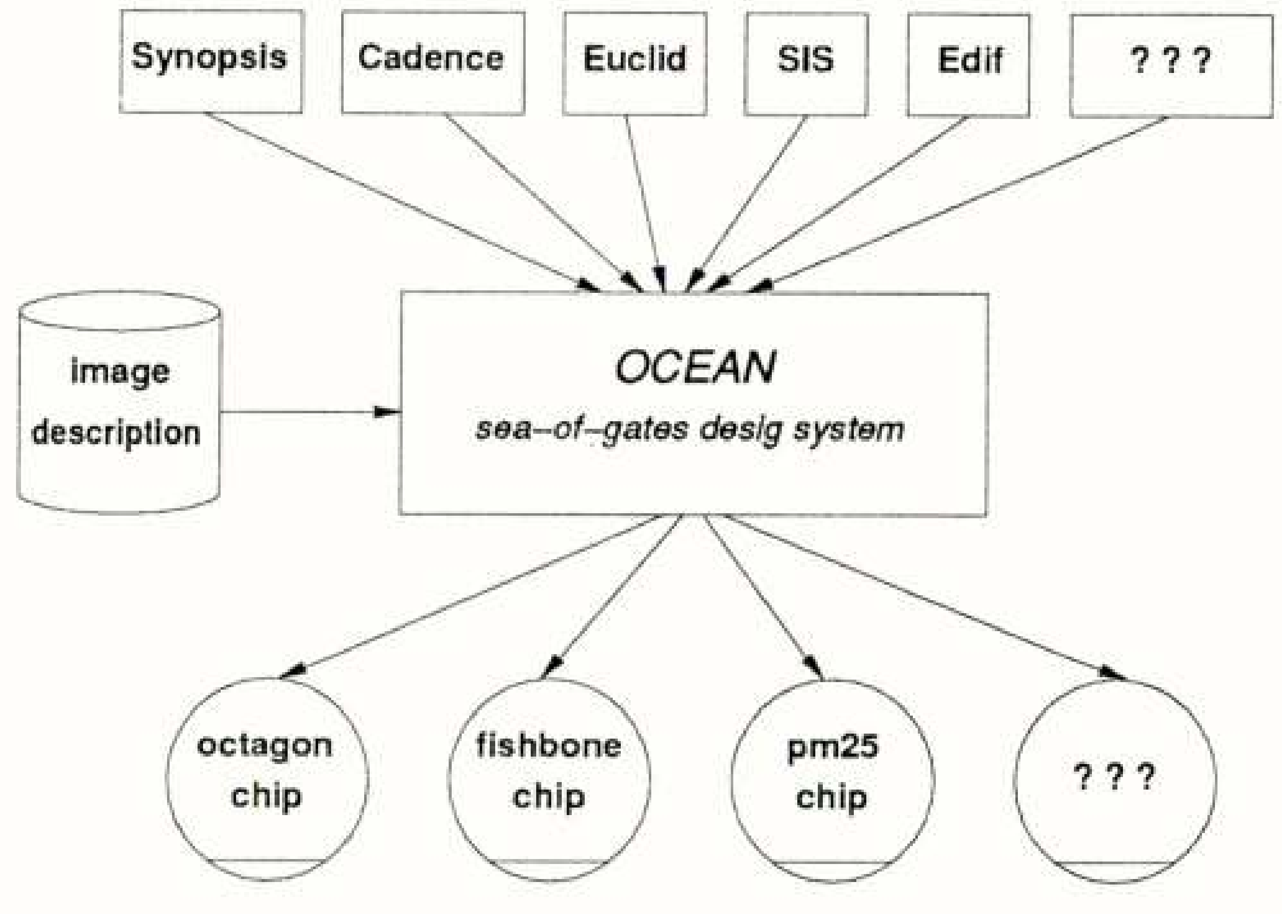
Netwerk

De netwerkbeschrijving definieert *hoe* de functie gemaakt wordt. Het kan bijvoorbeeld een tekening zijn van de schakeling, met adders, selectors, flipflops, etc. In plaats van een tekening kan het ook een tekst-file zijn die beschrijft hoe de onderdelen met elkaar verbonden zijn.

Layout

De layout definieert *waar* alle netwerkkomponenten op de chip geplaatst worden en *waar* precies de metaaldraadjes lopen om die komponenten met elkaar te verbinden.

OCEAN ondersteunt al deze drie stappen. Maar alleen de laatste stap (layout) heeft met sea-of-gates te maken. OCEAN heeft een zeer flexibele interface die het mogelijk maakt om de layout-stap aan te sluiten op netwerkbeschrijvingen die uit andere ontwerppakketten komen. Figuur 4 laat zien hoe OCEAN aansluit op Synopsis en Cadence (dat zijn commercieel verkrijgbare ontwerpsystemen), op Euclid en SIS (logische synthese uit Eindhoven en Berkeley). OCEAN accepteert ook het EDIF netwerkformaat dat door veel ontwerppakketten gegenereerd wordt.



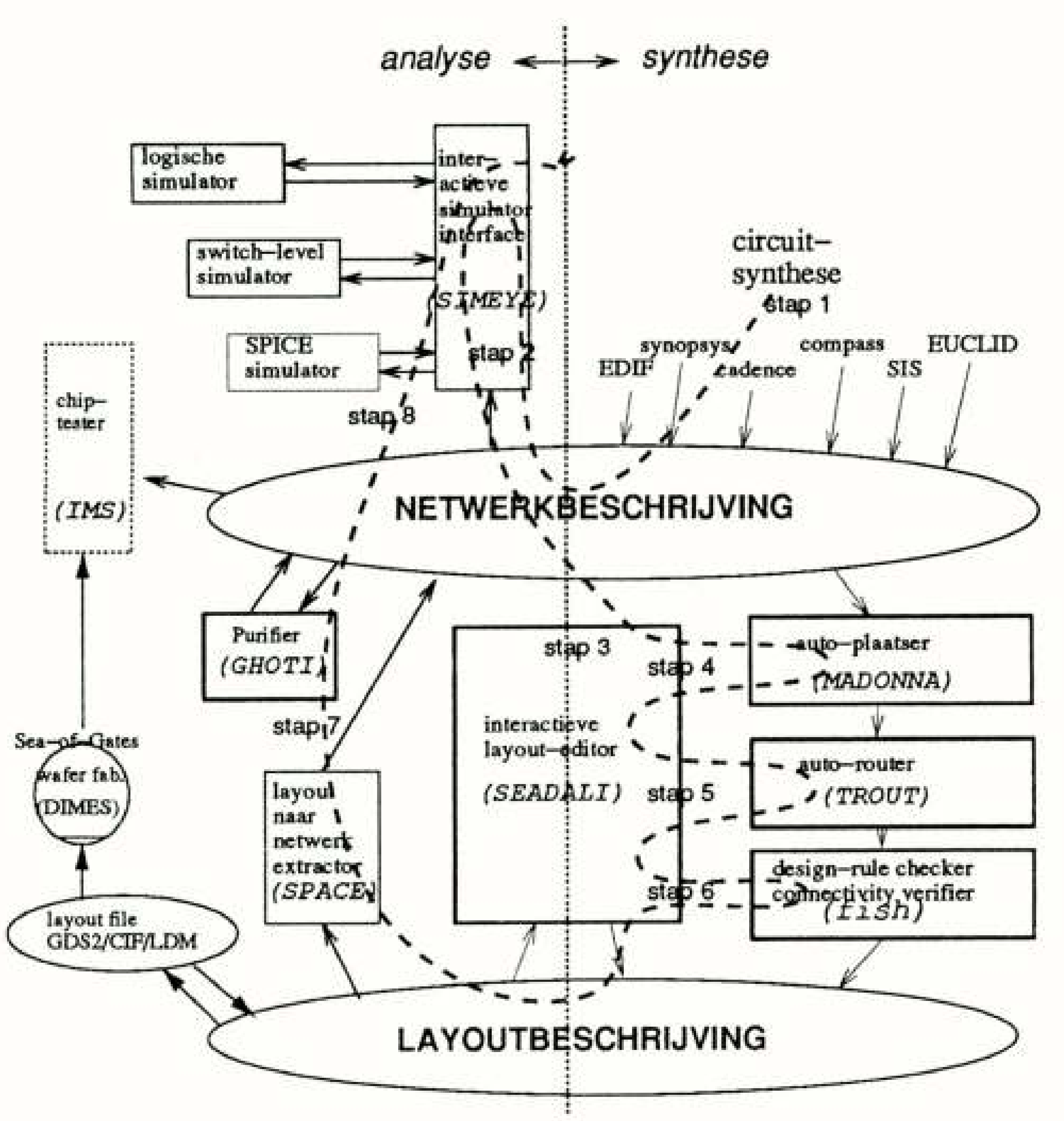
Figuur 4: Invoer en uitvoer van het OCEAN layout-systeem.

In deze figuur zien we dat OCEAN niet alleen veel verschillende *ingangen* heeft, maar dat het ook veel verschillende *uitgangen* heeft. Het kan layout genereren voor zeer veel verschillende master images. De *image description* file beschrijft het master image. Het is niet erg moeilijk om zelf een image te bedenken en daar een image description file bij te maken.

4. SEA-OF-GATES ONTWERP MET OCEAN

Het maken van een layout met OCEAN is simpel. Meestal kunnen we de volgende stappen onderscheiden (zie figuur 5):

1. Het genereren van de netwerkbeschrijving (bv dmv logische synthese).
2. Het controleren van de netwerkbeschrijving door simulatie. Snelle en interactieve simulatoren ondersteunen de gebruiker hierbij.
3. Het opstarten van de interactieve layout-editor *seadali*. Hiermee kan de layout bekeken en handmatig veranderd worden. Bovendien kunnen de drie volgende stappen met een druk op de knop vanuit *seadali* opgestart worden.



Figuur 5: De ontwerpstappen in het OCEAN systeem. De rechthoeken zijn de computerprogramma's.

4. Het plaatsen van de modules (de onderdelen) op de chip, gevolgd door
5. bedrading van deze onderdelen. En vervolgens
6. design-rule checking van de layout (facultatief).
7. Layout-naar-netwerk extractie, gevolgd door
8. vergelijking met het originele circuit (door simulatie). Indien nodig, ga terug naar stap 1.

Veel van deze stappen zijn verregaand geautomatiseerd (zoals de plaatsing en bedrading), maar indien nodig kan op elk nivo handmatig ingegrepen worden. De gebruiker heeft dus de volledige controle over OCEAN. In de volgende paragrafen zullen we enkele belangrijke stappen nog eens nader belichten.

4.1 Automatisch plaatsen met MADONNA

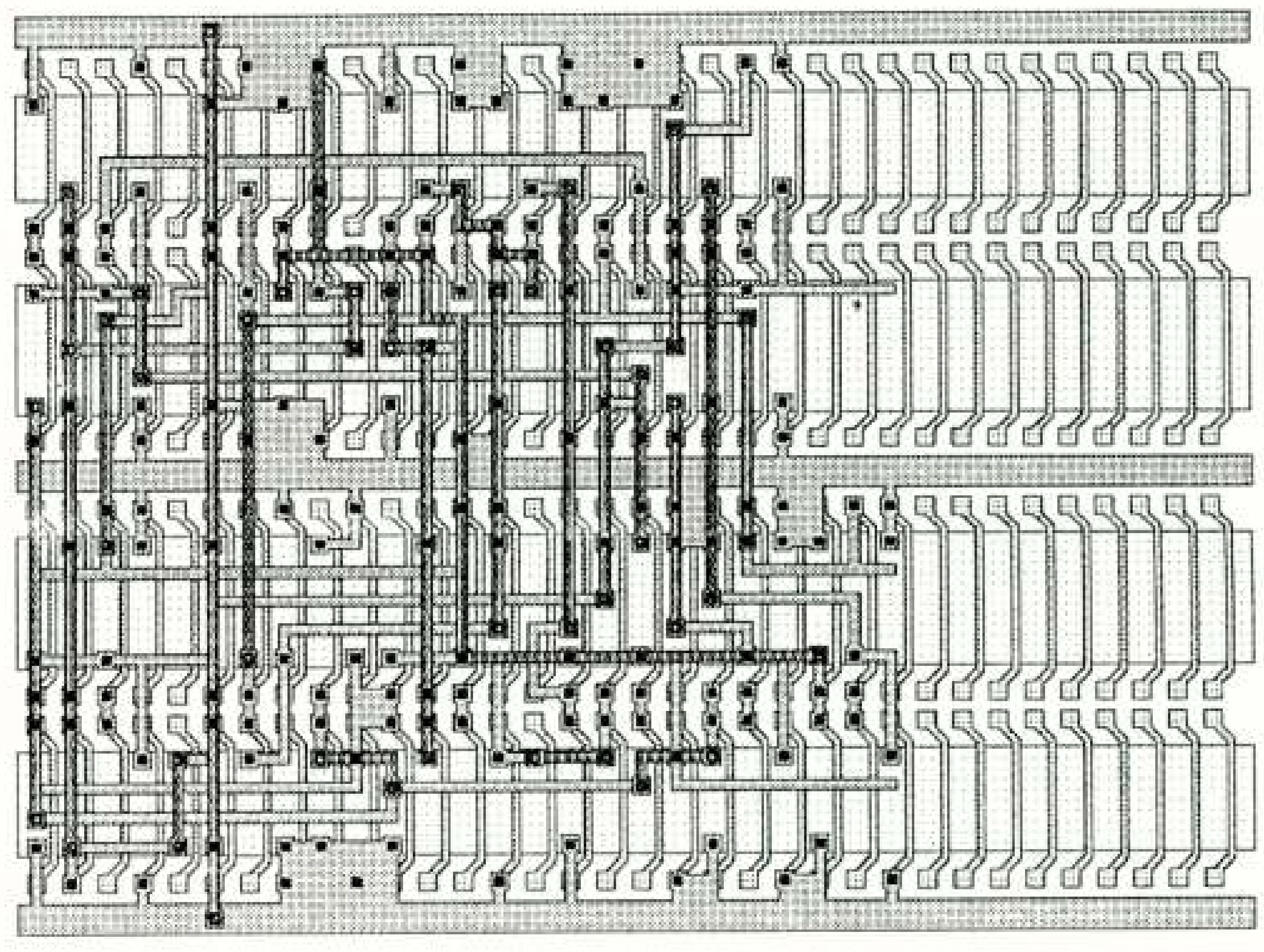
Door een simpele druk op de knop kan *madonna* aan het werk gezet worden. In zeer korte tijd maakt zij een plaatsing voor de modules. Madonna probeert de onderdelen zodanig neer te leggen dat ze daarna eenvoudig en met korte verbindingen bedraad kunnen worden. Indien gewenst kan ze duizenden onderdelen tegelijk plaatsen. Ze berekent dan hoeveel ruimte er nodig is voor de bedrading van deze onderdelen en reserveert *bedradingskanalen* zodat de router in een later stadium niet in de problemen komt.

Madonna pretendeert niet het beter te weten dan de ontwerper, dus je kunt als ontwerper de door madonna gemaakte plaatsing bekijken en wijzigen met *seadali*.

4.2 Automatische bedrading met TROUT

Door op de volgende knop te drukken kan de schakeling volautomatisch bedraad worden. *Trout*, het programma dat dit voor je doet, is heel kreatief in het vinden van bedradingspatronen voor de netten, zelfs in de meest complexe layouts. Het maakt gebruik van de specifieke eigenschappen van het image om bijvoorbeeld een transistor-gate als doorverbinding te gebruiken.

Met de layout-editor *seadali* kan het door *trout* gegenereerde bedradingspatroon zonodig veranderd worden. *Trout* speurt automatisch het bestaande bedradingspatroon af, en vindt de de slimste (kortste) weg om de aansluiting te verbinden, al dan niet gebruikmakend van de bestaande bedrading. Hierdoor kunnen met de hand gemaakte netten door de trout automatisch 'afgemaakt' worden. Kritische netten (zoals de klok) kunnen op deze manier handmatig "pre-routed" worden. Een willekeurige kombinatie van automatisch and handmatig bedraden is dus mogelijk. In de praktijk blijkt het automatisch gegenereerd patroon echter zo goed te zijn dat handmatig ingrijpen nauwelijks nodig is.



Figuur 6: Een eenvoudige schakeling op het fishbone sea-of-gates image, na plaatsing en bedrading.

4.3 Verificatie van de layout

Bij een volautomatische plaatsing en bedrading is de layout per definitie design-rule correct, en hoeft dus niet op layout-fouten gecontroleerd te worden. Voor het geval van handmatige interventie kan echter toch gecontroleerd worden of de layout correct is. Hiervoor zijn de volgende knoppen beschikbaar in OCEAN:

Fish

Deze knop controleert op geometrische fouten volgens de design-rule specificaties van de chip-fabrikant. Veel voorkomende fouten zijn kontakten op foutieve plaatsen en gestapelde kontakten. Fish zorgt er ook voor dat de bedradingssporen de juiste breedte hebben en dat de kontakten precies op de juiste plaats uitgelijnd worden.

Check nets

Deze knop vergelijkt de layout met de opgegeven netwerkbeschrijving. Eventuele kortsluitingen worden genadeloos gedetekteerd. Bovendien worden alle niet verbonden aansluitingen in de layout aangegeven.

4.4 Verificatie door layout-naar-circuit extractie

Met de methoden uit de vorige paragraaf kan bepaald worden of de layout in principe correct is. De meest rigoureuze verificatiemethode is echter netwerk-extractie gevolgd door simulatie. OCEAN ondersteunt dit. Het in Delft ontwikkelde programma *SPACE* extraheert uit de layout het transistornetwerk met nauwkeurige parasitaire capaciteiten en weerstanden. Door het aldus verkregen netwerk te simuleren kan met tamelijk grote zekerheid bepaald worden of het circuit werkt, en op welke snelheid.

De simulatie van het geëxtraheerde netwerk gaat op precies dezelfde manier als die van het originele netwerk, waardoor eventuele verschillen

gemakkelijk gedetekteerd kunnen worden. De snelle switch-level simulator *SLS* en de tragere, maar nauwkeurige, *SPICE*-simulator zijn weer beschikbaar. Met deze laatste stap is de "cirkel" gesloten. In het geval dat de simulatieresultaten onbevredigend zijn kan een nieuw, verbeterd netwerk gegenereerd worden. Hiervan kan dan op dezelfde manier een layout gemaakt worden.

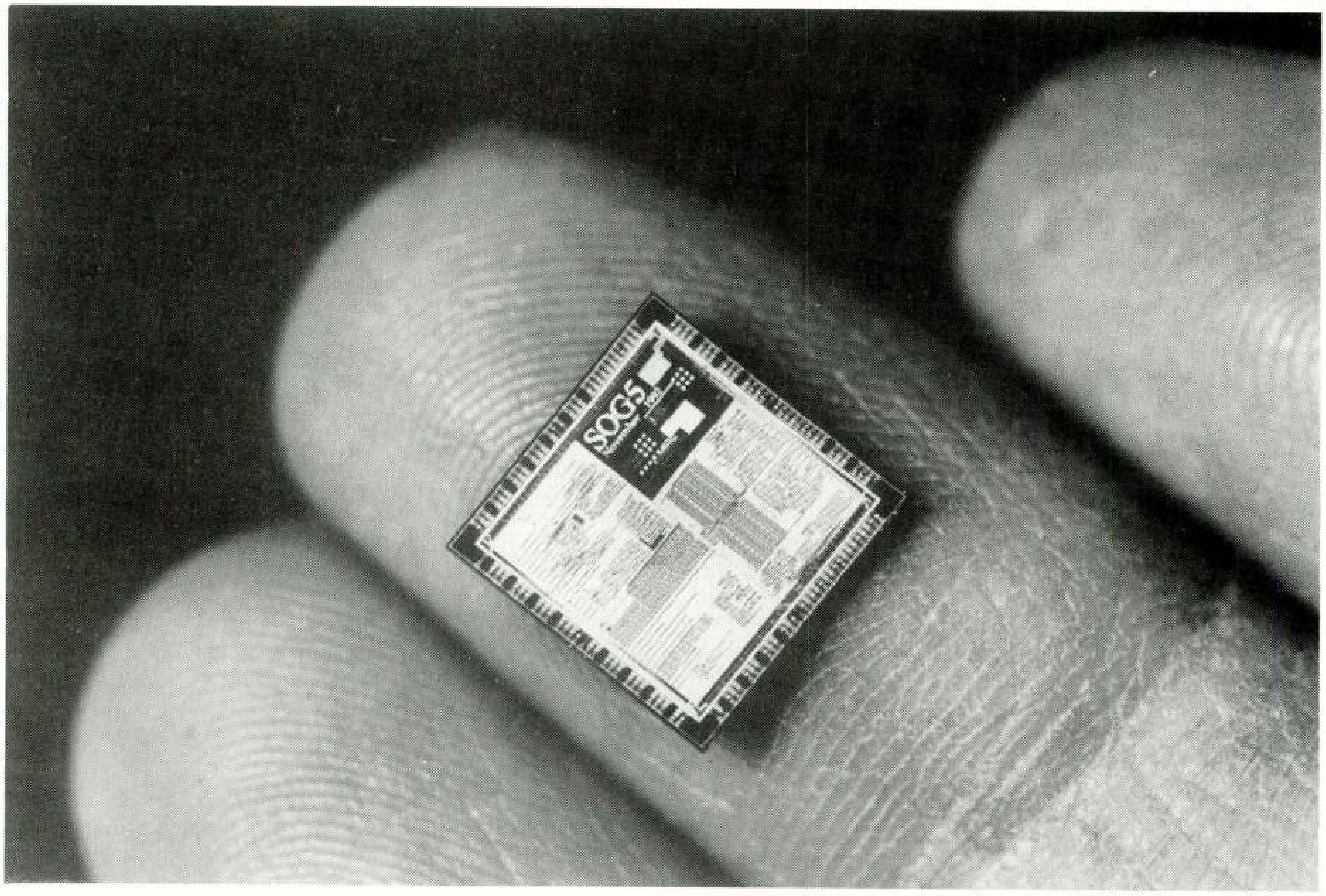
4.5 Hiërarchisch layout ontwerpen

De netwerken zoals we die op de chips in Delft ontwerpen kunnen vele tienduizenden transistoren bevatten. De layouts daarvan kunnen niet in een keer ontworpen worden, zelfs niet met de modernste computerprogramma's en de krachtigste computers. Daarom ondersteunt OCEAN een *hiërarchische layout-ontwerpstijl*. Elk onderdeel van de layout bestaat daarbij uit een aantal deelschakeling en/of een bedradingspatroon. Ieder van de deelschakelingen is op zijn beurt weer op een vergelijkbare wijze opgebouwd. OCEAN is tot nu toe het enige systeem dat deze hiërarchie ook voor layout volledig ondersteund. De deelschakelingen mogen namelijk willekeurige afmetingen en vormen hebben. Dit in tegenstelling tot conventionele pakketten, waarbij het altijd noodzakelijk is de layout "plat te slaan" en de komponenten vervolgens in rijtjes neer te leggen. Voor gestructureerde schakelingen (zoals geheugen en ALU's) is deze platte rij-structuur verre van optimaal.

5. PRAKTISCHE RESULTATEN EN CONCLUSIES

Op dit moment (kort na de officiële introductie) zijn er wereldwijd al ruim 20 OCEAN installaties, met honderden gebruikers van Singapore via Portugal tot de VS. Op de TU Delft wordt OCEAN gebruikt voor een high-performance microprocessor-ontwerp en voor een praktikum.

Ondanks de recente introductie van OCEAN is het geen understatement te melden dat OCEAN "combat-proven" is. Alle 160 tweedejaars-studenten elektrotechniek op de TU Delft ontwerpen een chip mbv OCEAN, en daarbij heeft het systeem bewezen "student-proof" te zijn. Een groep van 16 studenten ontwerpt een complexe chip van A tot Z (zie figuur 7). De uiteindelijke schakeling, die ongeveer 45.000 transistoren omvat, wordt door de studenten in slechts 16 middagen ontworpen, inclusief inwerken. Daarbij is de voorkennis op chip-ontwerpgebied zeer beperkt. Ontwerpen met OCEAN is dus bijna letterlijk kinderspel.



Figuur 7. De vijfde sea-of-gates chip die in Delft gemaakt werd. Deze 10 x 10 mm^2 chip bevat 3 studentenschakelingen (ieder met 45.000 transistoren) en een aantal testschakelingen in the rechter bovenhoek. Dankzij de gestructureerde hiërarchische layoutstijl van OCEAN zijn de regelmatige structuren (geheugen, registers) zelfs met het blote oog te onderscheiden. Er zijn 144 bonding pads langs de rand beschikbaar voor input-, output- en bidirectionele signalen.

Voordracht gehouden tijdens de 408e werkvergadering.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP

411e werkvergadering/algemene ledenvergadering

UITNODIGING voor de algemene ledenvergadering ('s-morgens) en lezingen en discussiemiddag op vrijdag 2 april 1993 te DEN HELDER

THEMA: RADAR.

Nederland heeft vanaf het prille begin een zeer vooraanstaande rol gespeeld in de ontwikkeling van de radar. Deze dag geeft u (hernieuwde) kennismaking met dit fascinerende vakgebied en tevens een volstrekt UNIEKE gelegenheid een van de meest geavanceerde operationele radarsystemen ter wereld te bezoeken.

PROGRAMMA:

10.00 - 10.30 uur: Ontvangst en koffie

10.30 - 12.00 uur: Algemene ledenvergadering NERG

12.00 - 13.00 uur: Aperitief en lunch

13.00 - 13.30 uur: De 3D-Radar van de Koninklijke Marine
Toelichting systeemopzet, tevens excursie-inleiding
Ir. J.B.F. TASCHE, Logica BV Woerden, oud Koninklijke Marine

13.30 - 14.00 uur: Over antennes en bundels;
radartoepassingen en de keuzes die daarbij horen
Prof.ir. E. Goldbohm C Eng FIEEE, Consultant, oud-directeur Chr. Huygens-laboratorium

14.00 - 14.30 uur: Radar Ontwikkelingen
Verbeterde kennis en inzicht in medium en processing alsmede moderne technologie, vormen de basis voor nieuwe generaties radar rond 2000
Ir. G.A. VAN DER SPEK, FEL-TNO DEN HAAG

14.30 - 14.45 uur: Thee

14.45 - 16.45 uur: **Excursie Geleide-Wapenfregat Hr. Ms. De Ruyter**
Excursie met als zwaartepunt de 3D-Radar. Tevens bezoek Commando Centrale en scheepsexcursie

16.45 uur: Sluiting

Aanmelding voor deze dag dient te geschieden vóór 25 maart aanstaande door middel van aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 70 cent. Introducés zijn niet mogelijk. Alleen NERG-leden hebben stemrecht op de Algemene Ledenvergadering. De agenda en vergaderstukken voor deze vergadering worden u tijdig toegezonden.

Aan deelname en lunch zijn geen kosten verbonden.

De Algemene Ledenvergadering, de lunch en lezingen vinden plaats in de Marineclub, Harsens, Den Helder. Dat is vlakbij de boot naar Texel. Er is voldoende parkeergelegenheid. Aansluitend aan de trein die om ca. 10.04 in Den Helder arriveert zal er speciaal marinevervoer (bus) zijn naar de Marineclub.

Voor de excursie ligt het Geleide Wapenfregat Hr. Ms. De Ruyter aan de kade op de nieuwe haven. De nieuwe haven is niet vrij toegankelijk. Voor de excursie is er speciaal marinevervoer (bus) van de Marineclub naar het schip en terug (via station NS).

Het aantal deelnemers aan de excursie is, wegens beperkte ruimte aan boord, beperkt tot ca. 50.
Tijdstip van ontvangst van aanmelding is beslissend voor deelname.

Namens het NERG,
Ir. P.R.J.M. Smits, programmacommissie

Leidschendam, februari 1993.

OVER ANTENNES EN BUNDELS; KEUZEN BIJ ENKELE RADARTOEPASSINGEN

Prof. ir. E. Goldbohm
Oud directeur Christiaan Huygenslaboratorium

SUMMARY

In the paper On arrays and beams, choices for radar applications, three different arrays, developed by Christiaan Huygenslaboratory, Noordwijk, will be described, taking into account design considerations, features and parameter choice.

1. The Height Finder Array HOM of the 3D radar, built by Hollandse Signaal Apparaten (Signaal). It is a Frequency Scan Array, which is gearbox driven for azimuth. Since the rate of rotation and elevation beam vs. frequency direction are more or less fixed, its design determines the radars properties to an appreciable extent. Nevertheless, smart signal generation and processing enhances its flexibility.
2. The Signaal SMART Phased Array features 16 layers of a stripline wideband corporate feed, which activates a row of horizontal dipoles.
   This receive array is elevation steered by a digital beamformer. The Xmitter antenne is a single waveguide array - in view of high applied power - with a vertical beamwidth of 90°. Processing is sophisticated and flexible, featuring wide band operation and very low sidelobes in view of the required clutter and ECM protection. The receive array generates 12 simultaneous elevation beams and is gearbox driven for azimuth.
3. A Noise Radar (Rudar) experiment is discussed to illustrate the freedom thus being obtained to manipulate various operational parameters against compexity of hardware and time utilisation. Its unique signal properties avoid many of the limitations inherent in other radars. A target response of -35 dB S/N_{in} was detected with S/N_{out} = + 12 dB.

INLEIDING

In dit artikel wordt een beschrijving gegeven van de HOM antenne van de 3D radar van Signaal. De daarop volgende beschrijving van de SMART antenne van Signaal zal enerzijds de voortgang illustreren die 20 jaar later werd verkregen en anderzijds een afweging mogelijk maken van voor- en nadelen.

Tenslotte wordt een onder contract met Philips Natuurkundig Laboratorium in de jaren '60 verrichte studie beschreven, die de realiseerbaarheid en de eventuele voordelen van het gebruik van ruis als zendsignaal beoogde aan te tonen.

Dit uit een NRP-patent van 1959 voortvloeiend onderzoek is van belang omdat, gezien de unieke eigenschappen van ruis, beperkingen inherent aan andere signaalvormen, niet meer bestaan. Zulke beperkingen zijn onder andere:

- "Second Trace" echo's als gevolg van hoge pulsherhaling,
- "Blind Speeds" als de dopplerfrequentie samenvalt met de pulsherhalingsfrequentie,
- conflict tussen goede resolutie (dus bij korte puls) en hoog vermogen (dus bij lange puls) teneinde een groot afstandsbereik te realiseren.

"Dwell time" eisen beperken de keuze van de pulsherhalingsfrequentie. Chirp pulscompressie lijkt het conflict te elimineren, maar dan is weer het minimum bereik beperkt door de lange puls en ook de "blind speeds" blijven een rol spelen.

In het bijzonder zijn de voordelen bij militaire toepassingen van belang. Immers evenals bij andere continu zendende systemen (CW), zoals bijvoorbeeld de Signaal Pilot FMCW radar, is detectie door de vijand moeilijk, gezien het geringe zendvermogen. Bovendien biedt in dit geval een stochastisch signaal de vijand weinig houvast voor zinvolle ECM maatregelen.

I. HOM ANTENNE

De HOM antenne werd door het Christiaan Huygenslaboratorium (CHL) tussen 1959 en 1964 ontwikkeld, resulterend in een prototype, dat door de Marine eind 1964 werd gekeurd. Het was oorspronkelijk de bedoeling in samenwerking met de Engelse Marine 9 stuks van deze 3D radar te bouwen. CHL bood de productie van de HOM antennes aan. Maar helaas halverwege haakten de Engelsen af en besloten een eigen ontwerp te maken. Wellicht was het Nederlandse ontwerp, dat in de wandeling wel "Broomstick" genoemd werd en derhalve herinnerde aan de succesvolle tocht van Admiraal de Ruyter naar Chatham, onze Engelse vrienden toch niet welgevallig.

Kortom voor CHL restte slechts de bouw van het prototype waarvan figuur 1 de opstelling bij de afnamekeuring in Zandvoort laat zien. Signaal produceerde tenslotte de 4 HOM antennes voor beide G.W.-fregatten.

Het principe van frequentie-scan is betrekkelijk eenvoudig. Bij een dispersieve antenne hoort bij elke frequentie een bepaalde richting van de bundel. De mate van dispersiviteit wordt bepaald door de lengte van de voedende golfpijp tussen de sleufstralers. De veel kleinere afstand tussen de sleuven zelve (0,7 λ) veroorzaakt een veel geringere dispersie van de bundel in een richting loodrecht op het scanvlak in elevatie. De simpele relatie tussen frequentie en richting heeft het voordeel van eenvoudige besturing, maar het nadeel van gevoeligheid voor opzettelijke storing (Jamming). Een frequentie generator en een pulsgemoduleerde vermogensversterker (TWT) completeren de zender. De feitelijke gecompliceerdheid schuilt in de mechanische uitvoering van de antenne, die aan hoge eisen van nauwkeurigheid moet voldoen.

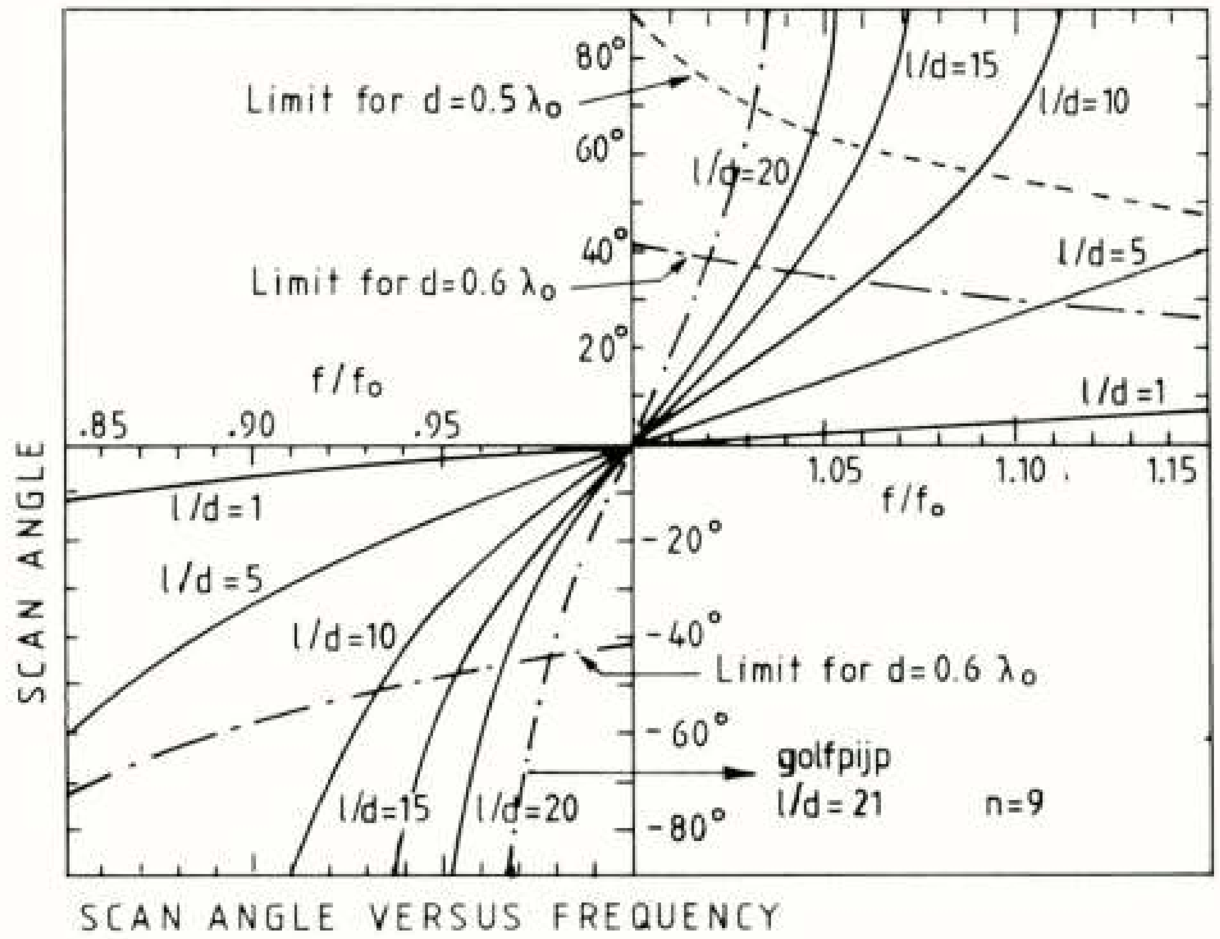
Een tweede HOM met iets andere karakteristiek verbetert de jamming gevoeligheid en verdubbelt het aantal "hits" per omwenteling!

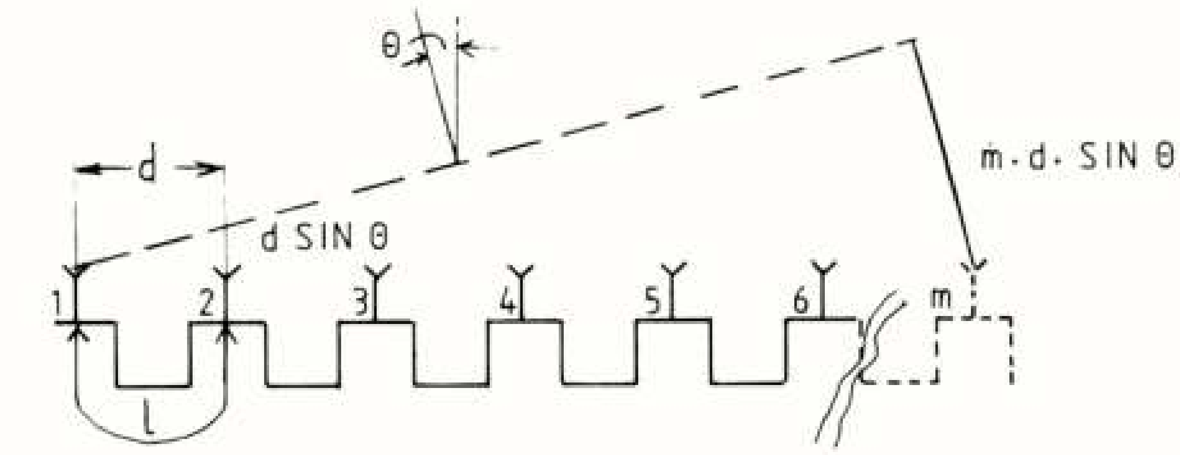
Overigens is het mogelijk bij andere frequenties dezelfde richtingen aan te sturen, bijvoorbeeld van f/f_o = 0,95 tot f/f_o = 0,92.

Als voedingslijn werd voor een opgevouwen golfpijp gekozen, zodat een hoog piekvermogen mogelijk was. Op nauwkeurig bepaalde plaatsen zijn richtkoppelingen aangebracht, die het signaal met de berekende amplitude en fase naar de sleufstralers voeren. Voor de 73 sleufstralers zijn vele tientallen meters voedingslijn nodig.



Figuur 1: HOM prototype opstelling voor afname test.





VOOR 2 STRALERS: $\frac{2\pi d}{\lambda} \sin\theta + 2\pi n = \frac{2\pi l}{\lambda}$

DUS: $\sin\theta = \frac{-n\lambda}{d} + \frac{l}{d}$

VOOR $\theta = 0$ $n = \frac{l}{\lambda_o}$: $\sin\theta = \frac{1}{d}\left(1 - \frac{f_o}{f}\right)$

n = INTEGER. GELDT VOOR LUCHT COAX.

IN GOLFPIJP:

$\sin\theta = \frac{l}{2afd}\sqrt{4f^2a^2 - c^2} - \frac{n \cdot c}{f.d}$

WAARIN a = GOLFPIJPBREEDTE BINNENZIJDE.

Figuur 2: De relatie tussen bundelrichting en frequentie.

Daar de uniforme cirkelvormige apertuur slechts -17 dB bijbundel onderdrukking geeft werd via de richtkoppelingen een amplitude afname naar de omtrek van de apertuur toegepast. Voor de relatie tussen frequentie en bundelrichting kan figuur 2 dienen.

Deze grafiek is verkregen uit de formule voor een coaxiale voedingslijn ($\lambda = \lambda_g$) met de voedingslijnlengte L/d als parameter en $d = 0,6\ \lambda$.

Voor golfpijp voedingslijn geldt een iets gecompliceerdere formule zoals aangegeven. In de figuur is daarom voor golfpijp en L/d = 21 en n = 9 tevens de frequentie zwaai ingetekend. In de figuur is ook de limiet voor de maximale scanhoek weergegeven waarbij nog geen secundaire zogenoemde "grating lobes" optreden. Daarom werd gekozen voor shuntsleuven in de smalle zijde van de golfpijp. De afstand d wordt dan ca. 0,6 golflengte. Het ontstaan van grating lobes kan worden vermeden als aan de relatie: $| 1 + \sin\theta | \leq \lambda/d$ wordt voldaan.

De grating lobe limiet neemt voor hogere frequenties af ($f/f_o > 1$) omdat dan immers d groter dan 0,6 λ wordt. Daarentegen wordt bij afnemende frequenties de limiet juist gunstiger. Daarom werden voor hogere elevatiebundels lagere frequenties gebruikt. Ten gevolge van de dispersiviteit van de sleufstraler zelve treedt nog een geringe bundelzwaai in het vlak van de sleufstraler op, waardoor het scanvlak iets gedraaid is ten opzichte van de hartlijn van het array.

Om de scanhoek zo groot mogelijk te maken en in de normaalrichting maximale gain te realiseren moeten de sleuven individueel met schroefjes worden aangepast. Zouden we dat niet doen dan zullen de admittanties van de sleuven bij f_o, dat wil zeggen in de normaal- of "broadside" richting, optellen en een grote VSWR veroorzaken.

Als aldus het reaktieve deel van de sleufimpedantie is gecompenseerd, zijn de individuele sleuven aangepast op de golfpijpimpedantie. Omdat de gain met cos θ afneemt is de scanhoek naar beneden veel kleiner dan naar boven. We willen immers op lage elevatiehoeken, waar de doelen ver weg kunnen zijn, maximale gain hebben. De horizon ligt ca. 10° onder de broadside richting. Daarom is de HOM iets achterover gekanteld.

Aangezien de zend/ontvangst puls de gehele voedingslijn doorlopen moet hebben om alle sleufstralers te activeren, moet de aequivalente pulslengte in de pijp groter zijn dan de voedingslijnlengte. Daardoor heeft de afstandsresolutie een minimale drempelwaarde. Anders treedt er gainverlies en bundel- dan wel pulsverbreding op. Dit in tegenstelling met Phased Arrays, zoals SMART, waar de pulslengte slechts groter dan de afmeting van de antenne dient te zijn.

Omdat de elektrische weglengte tussen sleufstralers zeer nauwkeurig dient te zijn, werden alle opgevouwen golfpijpsecties na gereedkomen gemeten bij f_o. Zo nodig konden de dikke golfpijpflenzen worden afgefreesd tot de correcte waarde.

De invloed van de temperatuurvariatie werd, na mislukte compensatie pogingen met bimetalen "tuning" pinnen, in het stuurprogramma gecompenseerd.

De wederzijdse koppeling tussen de sleuven was reeds in het sleufstraler ontwerp verdisconteerd; de koppeling tussen de sleufstralers, die sterk afhankelijk is van de scanrichting, was moeilijker.

Door het destijds ontbreken van numeriek bestuurde freesmachines was het met de hand frezen van 3800 sleuven en het lassen van 72 gevouwen golfpijpsecties een heel karwei!

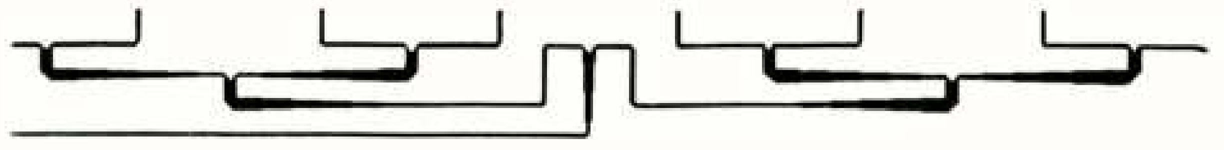
Van de gemonteerde voedingslijn werden vervolgens fase en amplitude gemeten bij f_o op de flenzen waar de sleufstralers worden aangekoppeld. Daarna werden deze gemonteerd.

Nabije veldmetingen werden verricht met lange sleufstralers met uniforme verlichting in 2 haaks staande richtingen. Tenslotte werden de stralingsdiagrammen gemeten in Zandvoort bij een groot aantal frequenties.

Bij dit alles kan men nog opmerken dat door een slimme keuze van antenne rotatiesnelheid, het pulsherhalingsinterval en de frequentie een vertikale slag over het doel wordt gemaakt, het zogenoemde kruisje slaan.

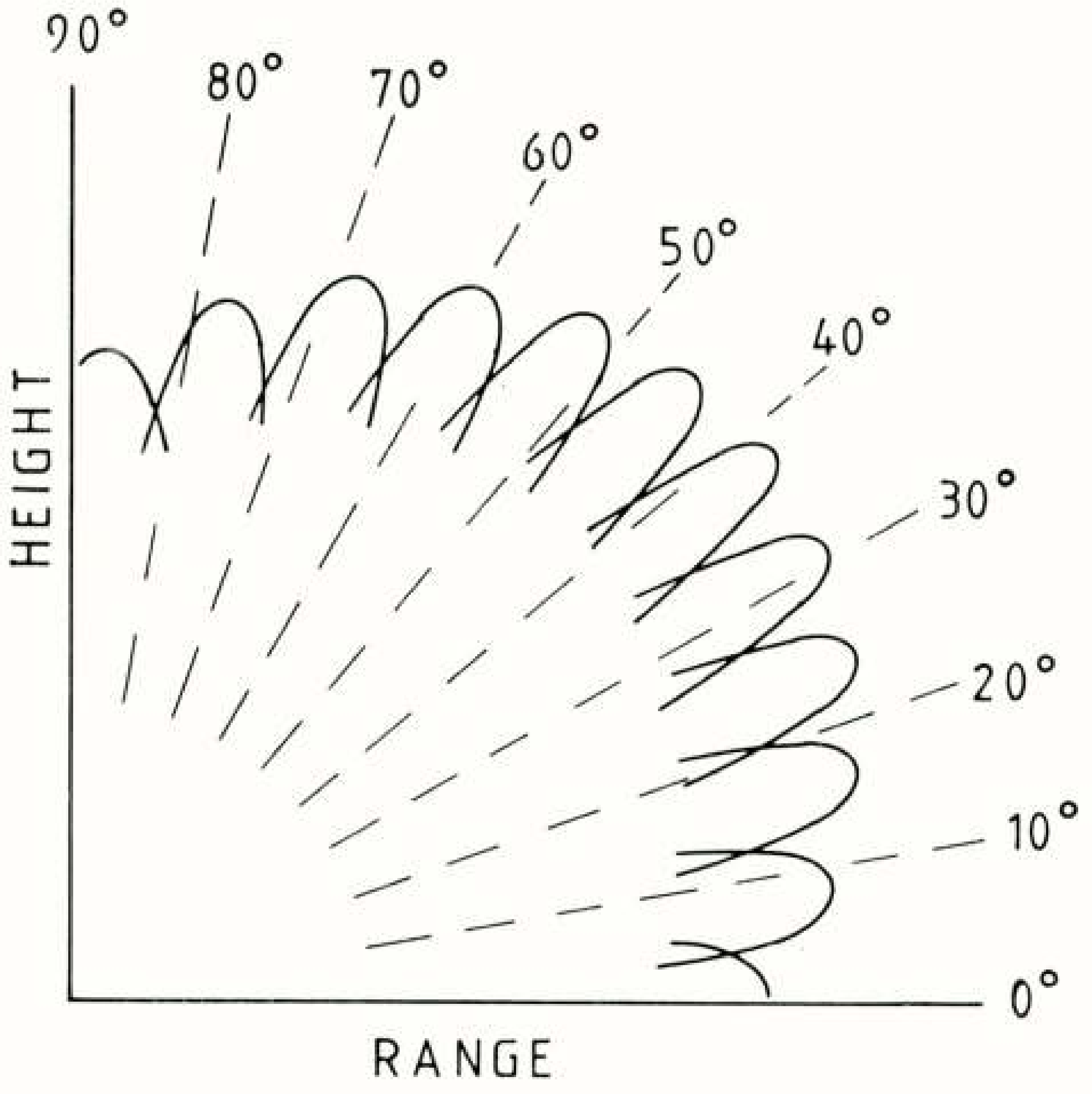
II. SMART PHASED ARRAY

CHL ontwikkelde begin tachtiger jaren een aantal modellen Phased Arrays. Voor Signaal werd allereerst een studie op de X band verricht, geverifieerd met een experimenteel model. Met de verkregen gegevens werd een ontwerp voor de S (mil.F) band gemaakt. Voor de azimuth bundel werd gekozen voor een rij horizontale dipolen, gevoed door een stripline vertakkingsnetwerk op een duroïd substraat en gekenmerkt door gelijke weglengten van de ingang naar de stralers en een amplitude verdeling met lage bijbundels (figuur 3).



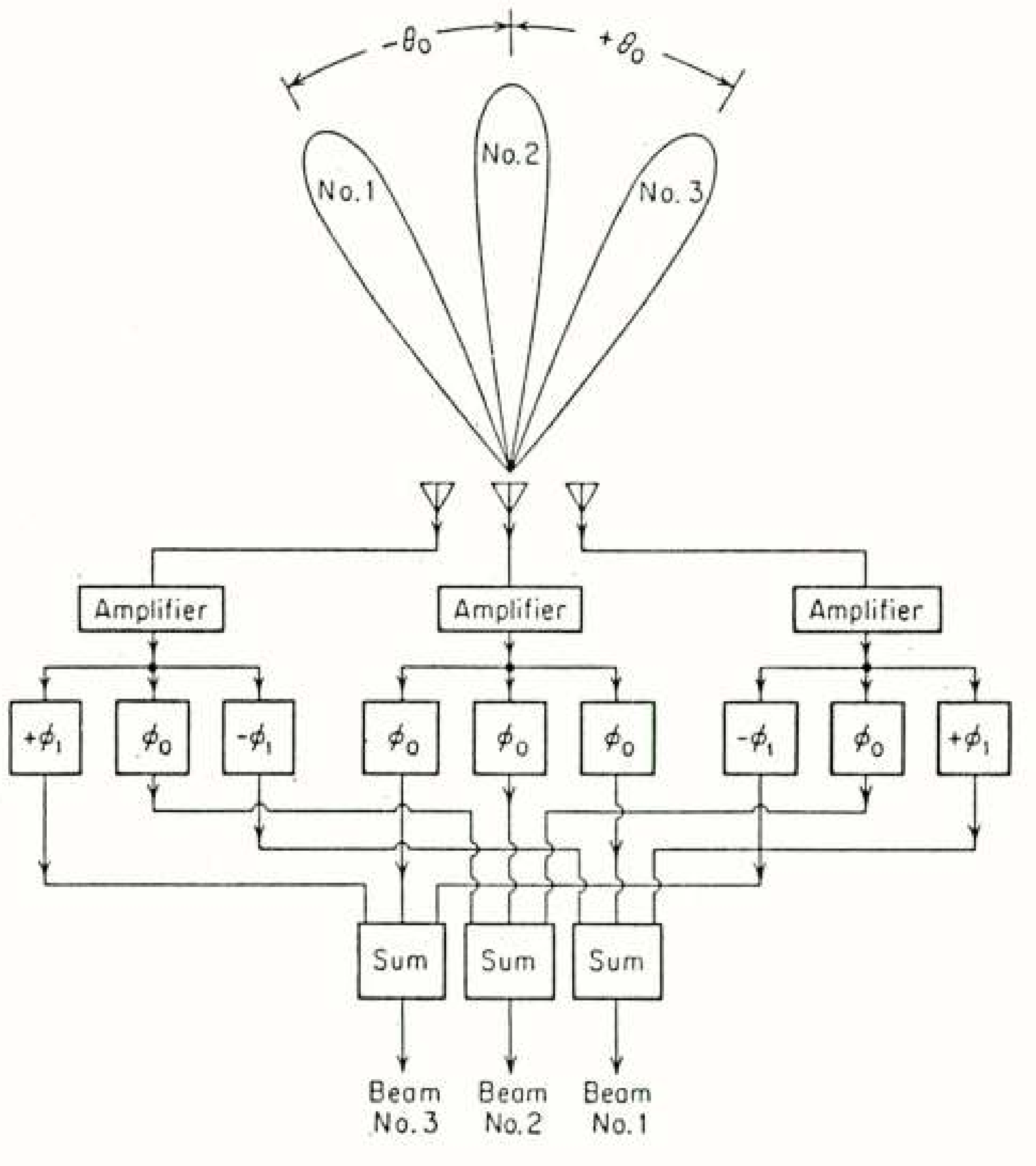
Figuur 3: Deel van stripline corporate feed.
Er zijn 2x3 van zulke structuren.

De verliezen waren te hoog en later werd door Signaal een schuimsubstraat gebruikt. Van deze ontvangarrays werden 16 stuks op elkaar gestapeld, waarmee 12 elevatiebundels werden gegenereerd (figuur 4).



Figuur 4: Elevatie bundels.

De fase en amplitude sturing van de arrays werd door een zogenoemde digitale beamformer gerealiseerd, waarvan figuur 5 een eenvoudig voorbeeld laat zien. Ook hier werd naar een laag niveau van de bijbundel gestreefd en werd praktisch -35 dB behaald.



Figuur 5: Simultane "postamplifier" bundelvorming. ϕ_0 = *constante fase;* $|\phi_1 - \phi_0| = |\Delta\phi| = |2\pi (d/\lambda) \sin \theta_0|$. *(Naar Skolnik)*

Dit was nodig omdat de zendantenne, een in golfpijp uitgevoerd array vanwege het gewenste hoge vermogen, een breed vertikaal stralingsdiagram heeft.

Dat betekent immers enkelvoudige bescherming tegen clutter en jamming in het bijbundel domein; dit in tegenstelling met arrays met gelijke zend- en ontvangbundels zoals de HOM, waar -25 dB bijbundelniveau -50 dB bescherming biedt.

Anderzijds kunnen 12 elevatiebundels nu vrijwel simultaan worden bewaakt.

Dit is een groot voordeel zowel voor surveillance als voor doelvolgen (tracking).

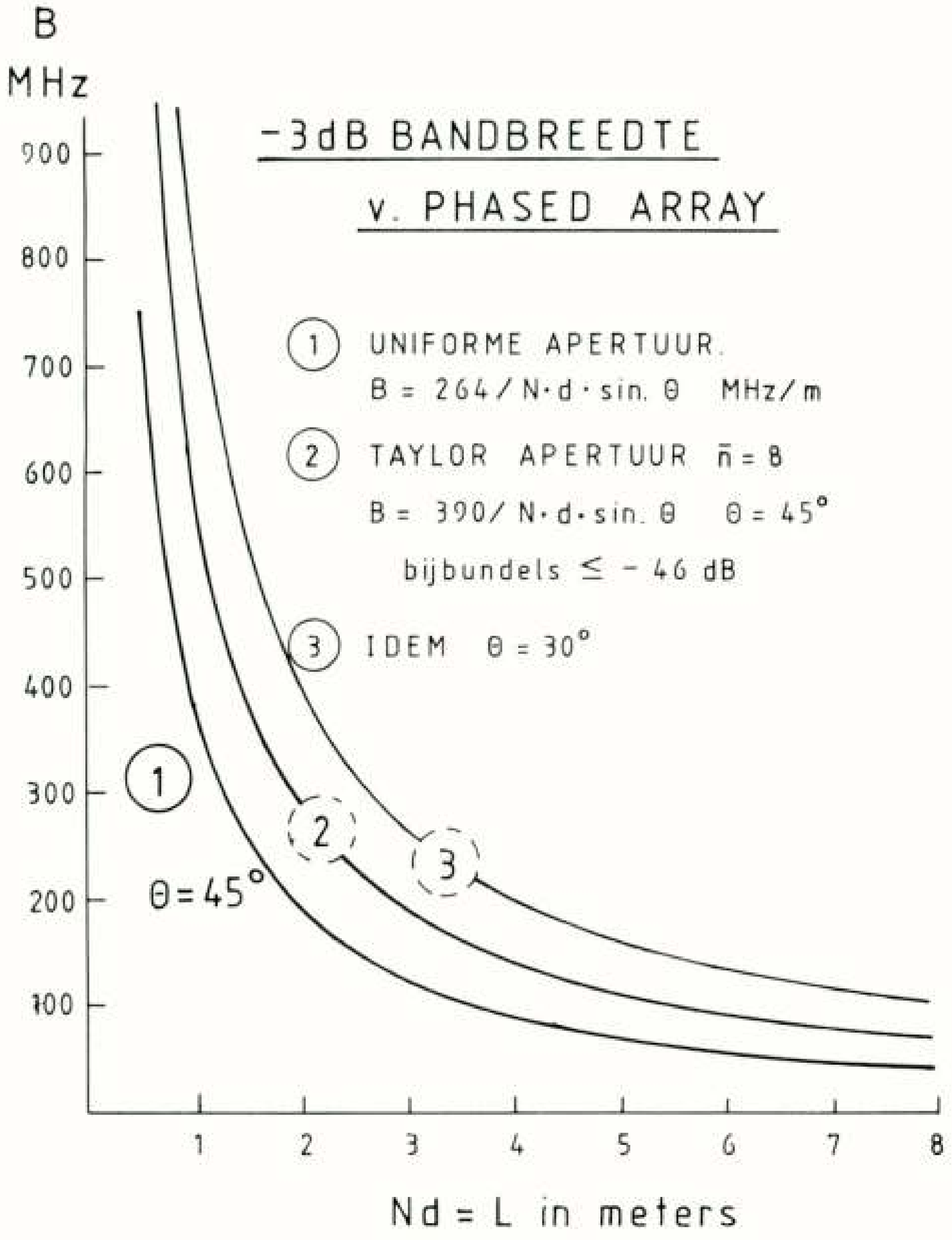
Tegenover de lagere gain van de zendantenne staat een groter aantal "hits" per elevatie bundel; de integratie wordt daarbij bepaald door de verblijftijd van een doel in een resolutiecel.

Bovendien wordt, om een hoog gemiddeld vermogen te realiseren, een hoge pulsherhalingsfrequentie (prf) toegepast, namelijk 3800 Hz.

Zogenoemde "second trace echos" die dan optreden voor afstanden groter dan 40 km worden in de processor verwerkt. Met wederzijdse koppeling tussen de arrays kan in de beamformer rekening worden gehouden.

Tenslotte nog iets over de breedbandigheid van het array.

Ofschoon het stripline vertakkingsnetwerk in principe breedbandig is wordt de breedbandigheid wel beperkt door de dipolen, maar bovendien door de zogenoemde arrayfactor. Deze houdt verband met de afmeting van het array in meters, zoals figuur 6 laat zien.



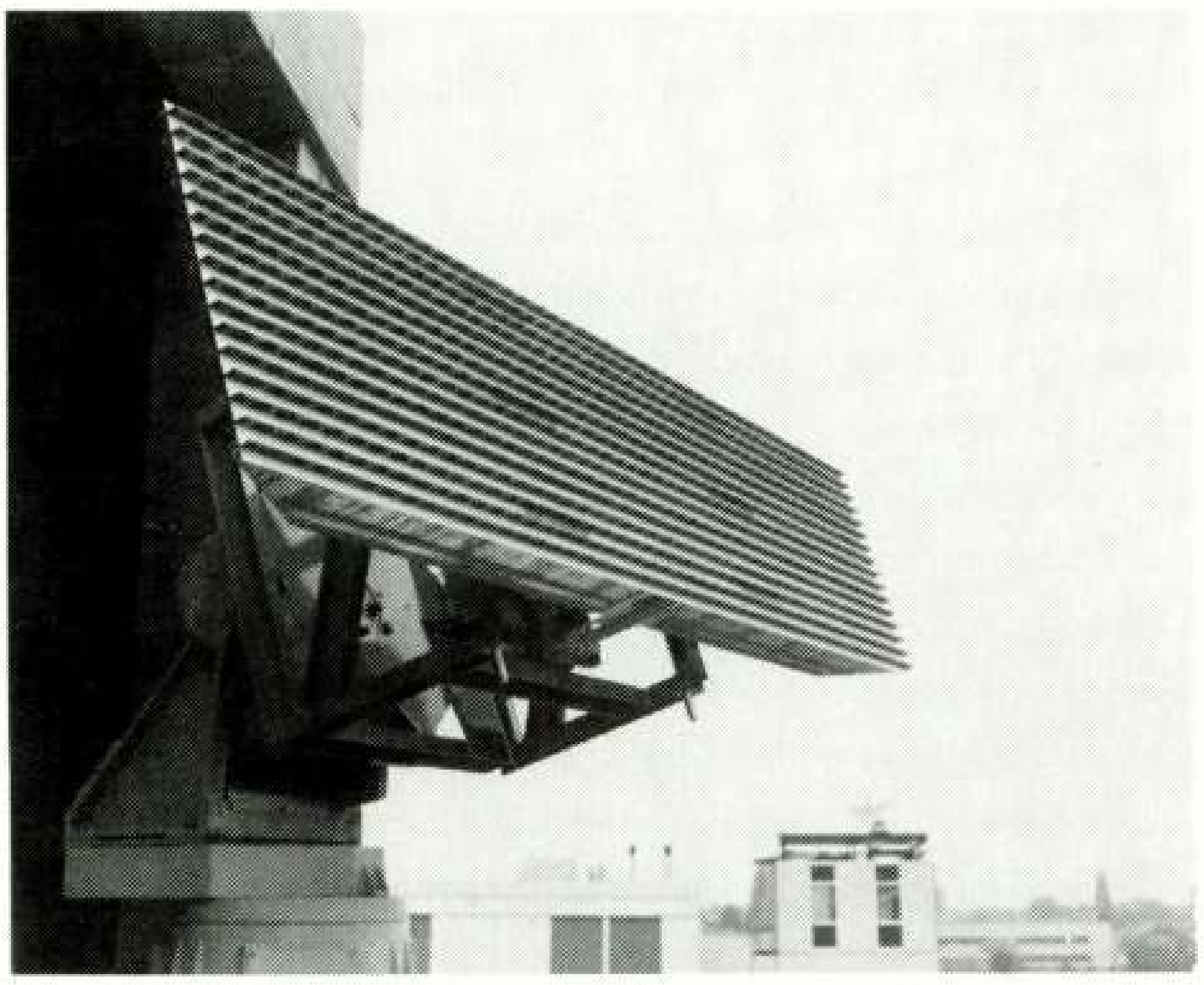
Figuur 6: De bandbreedte als functie van de array-afmeting.

Het verbaast wellicht, dat de golflengte in deze grafiek niet voorkomt. Dit kan worden verklaard door de bandbreedte vanuit het frequentiedomein via een Fourier transformatie te vertalen in een aequivalente pulslengte in het tijddomein; immers: pulslengte= 1/B, en dat geldt voor de door pulscompressie verkorte puls (0,6 μs). En ruimtelijk is de puls dus 180 m lang.

Zoals we gezien hebben, moet de puls in de "endfire" richting langer zijn dan de afmeting van het array. Voor de broadside richting is de arrayfactor, zoals de formule aangeeft, oneindig; dat wil zeggen er geldt geen beperking.

Dat sterk "getaperde" amplitude verdelingen een grotere bandbreedte geven wordt verklaard als wij de effectieve pulslengte beschouwen.

Figuur 7 geeft een indruk van de uitvoeringsvorm van een SMART antenne.



Figuur 7: Foto van het prototype SMART antenne.
(Met toestemming van Hollandse Signaal Apparaten B.V.)

Samenvattend zijn de voordelen van dit type array:

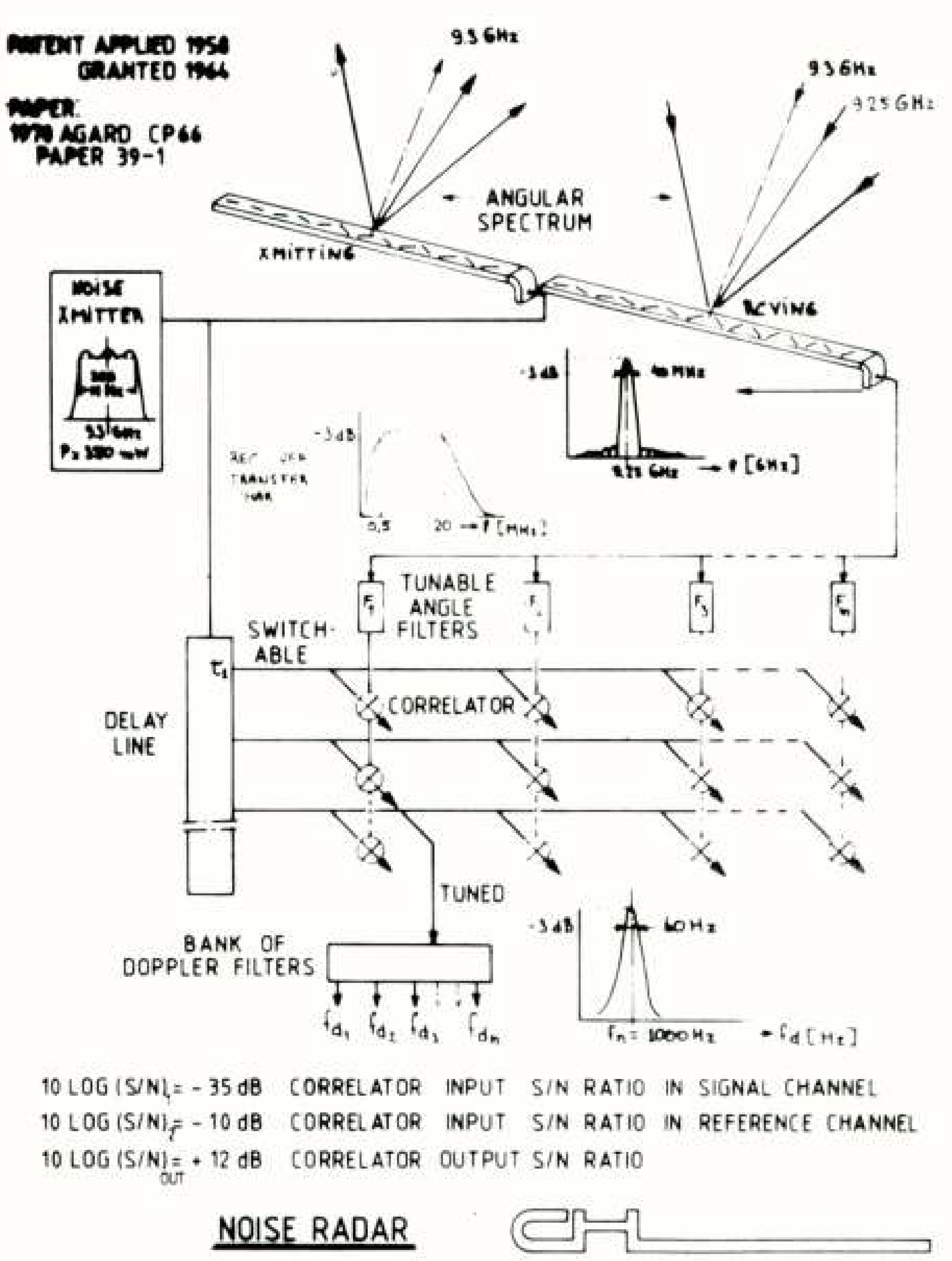
* Een apertuur kan een aantal onafhankelijke bundels simultaan genereren.
* Met behulp van monopuls technieken kan een grote nauwkeurigheid in elevatie worden bereikt (ca. 0,3°). Doelvolg nauwkeurigheid is 0,6°.
* Gegeven breedbandigheid veroorlooft pulscompressie en "frequency hopping".
* Amplitude en fase van het vertikale array worden in de beamformer ingesteld.
* Multifunctioneel gebruik: surveillance en doelvolgen. Doelsnelheid met doppler.
* Identieke ontvangarrays maken de constructie relatief eenvoudig.
* "Graceful degradation".
* Elektronische stabilisatie van antenne mogelijk. Hier evenals bij HOM niet toegepast, omdat dit ten koste van de vertikale scanhoek zou gaan.
* Een vlak array, als de onderhavige HOM en SMART, heeft vrijwel geen zogenoemde backlobes en spillover lobes, zoals die bij reflektor antennes onvermijdelijk zijn.

  De apertuur verlichting zal het theoretische ontwerp goed benaderen.
* Een extra bonus is, dat de stralingsdiagrammen van het complete ontvangarray aanzienlijk beter blijken te zijn dan die van elk der stripline arrays. Random fouten middelen uit.

III. RUDAR

Aangezien het ruisradar experiment (1964) uitvoerig is beschreven in twee publicaties, [1], [2], wordt hier volstaan met een korte beschrijving en enkele conclusies.

In figuur 8 is een schema van de opstelling gegeven.



Figuur 8: Principeschema van een ruisradar.

Een 200 MHz breed ruisspectrum (0,35 watt) werd door een eindgevoede sleufstraler op de X band met een bundelbreedte van 0,4° over een hoek van 2° gespreid. Doelreflecties werden door een tweede identieke sleufstraler weer ontvangen.
Het binnen een bundelbreedte uitgezonden spectrum is ca. 45 MHz breed en na ontvangst met een zelfde sleufstraler 22 MHz breed. Met frequentiefilters F_k konden 6 richtingen worden onderscheiden.

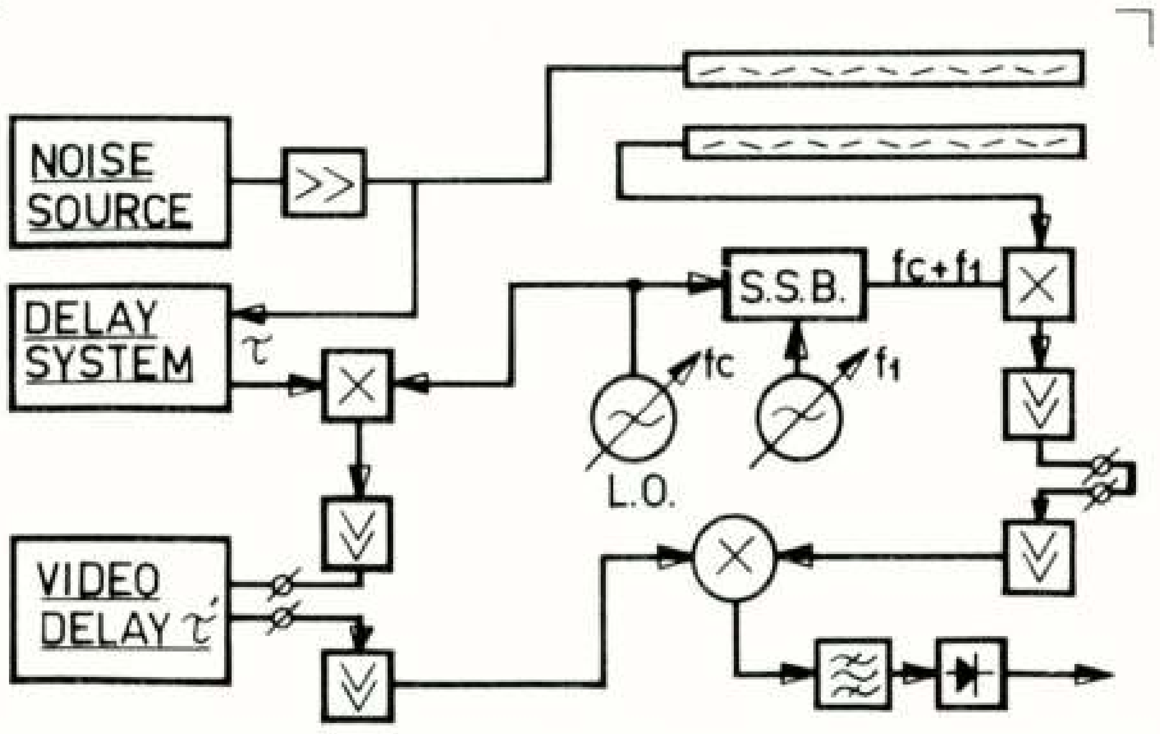
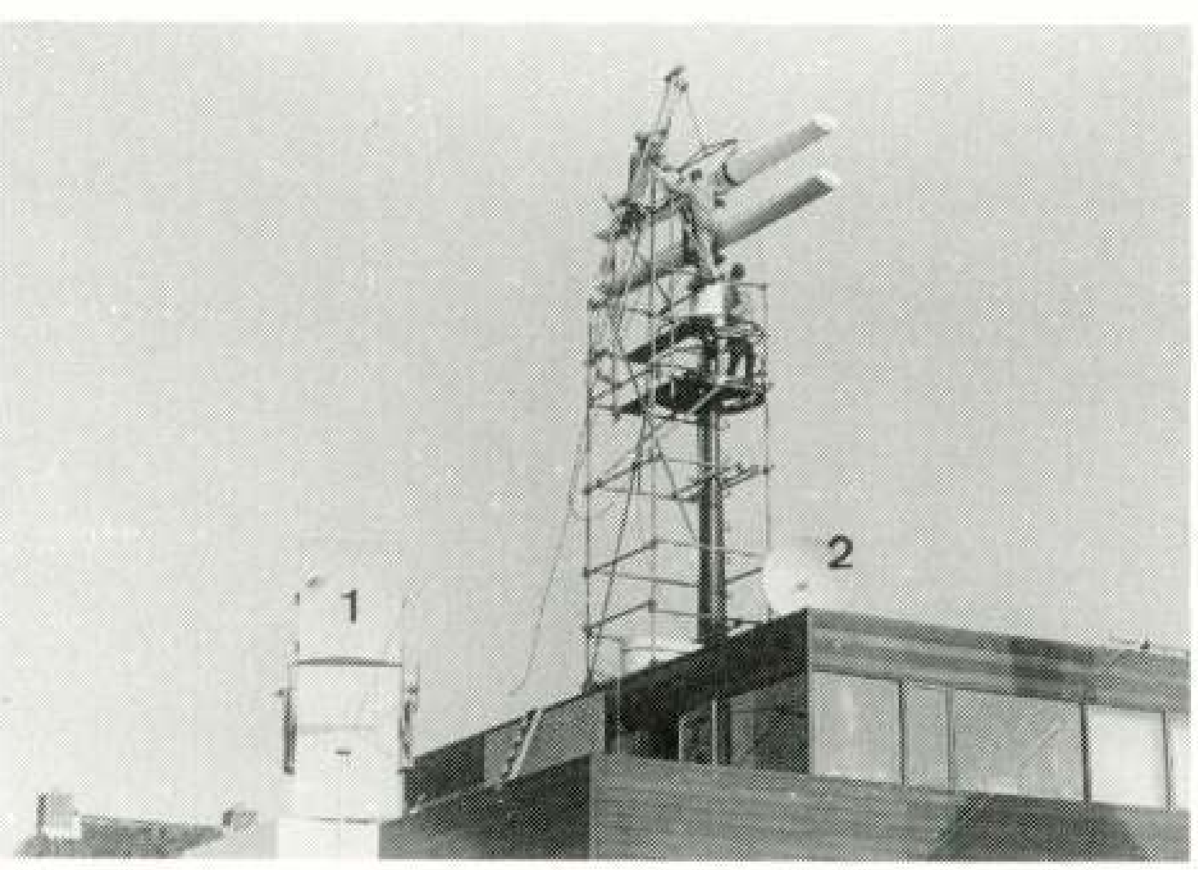


FIG.9 BLOCK DIAGRAM OF REALISED RUDAR SYSTEM

Figuur 9: Blokdiagram van de verwerking van het ontvangen signaal tot videosignaal.

Deze ruissignalen, na bewerking als videosignalen (B = 15,7 MHz, zie figuur 9), worden toegevoerd aan n rijen van elk m omhullende correlatoren. De tweede ingang van de correlatoren was aangesloten op n aftakkingen van een breedbandige vertragingslijn. Elke aftakking komt overeen met een doelafstand. De vertragingslijn levert een in de tijd verschoven replica van het zendsignaal, waarvan het vermogen wordt ingesteld voor optimale correlatie. De uitgangen van de correlatoren waren verbonden met een bank van dopplerfilters.(B_d = 60 Hz). Zo werd een verbetering in S/N bereikt van B_{vid}/B_d van ca. 54 dB.
Wanneer een doel op bepaalde kanalen aanwezig is zal detectie plaatsvinden met een integratietijd gelijk aan de verblijftijd van dat doel in een resolutiecel. Figuur 10 laat een foto van beide sleufstralers en de lucht-vertragingslijn zien.



Figuur 10: Foto van de opstelling van zend/ontvang sleufstralers en de antennes van de z.g. luchtvertragingslijn. Antenne 1 zendt een replica van het ruissignaal via een reflector op ca. 4 km afstand naar antenne 2. Verdere vertraging via een aftakbare coax.

CONCLUSIES

1. Het bleek mogelijk een doel met $(S/N)_{in}$ = -35 dB aan de ontvangeruitgang met $(S/N)_{uit}$ = +12 dB te detecteren.
2. Het array gaf goede resultaten als "spacefilter". Mechanische aftasting van de bundel kwam goed overeen met frequentieaftasting.
3. "Spurious signals" in de vertragingslijn (hier -18 dB) veroorzaakten storing in de elektronische scan en dienen vermeden te worden.
4. Doelen in dezelfde resolutiecel, maar met verschillende snelheden, werden goed gedetecteerd. Dopplerfilters dienen lage kruiskoppeling te hebben.
5. Zolang de bandbreedte van de videofilters kleiner dan of gelijk is aan de antennebandbreedte $B = \theta_{-3dB}/2kV2$ is er weinig verlies in hoeknauwkeurigheid. (k is de squintfactor en is hier 0,00883).
6. Door het niet beschikbaar zijn van geschikte vertragingslijnen was destijds de realisering van een echt systeem niet mogelijk en werd volstaan met het testen van een "doorsnede" van de essentiele functies.

Het zal duidelijk zijn, dat de continue beschikbaarheid van alle informatie binnen het bestreken gebied ten koste van veel hardware wordt verkregen. Chips en breedbandige vertragingslijnen zouden misschien een oplossing in zicht kunnen brengen.
Anderzijds kan ook weer een aantal kanalen worden afgetast met besparingen in componenten en zonder verlies aan informatie.

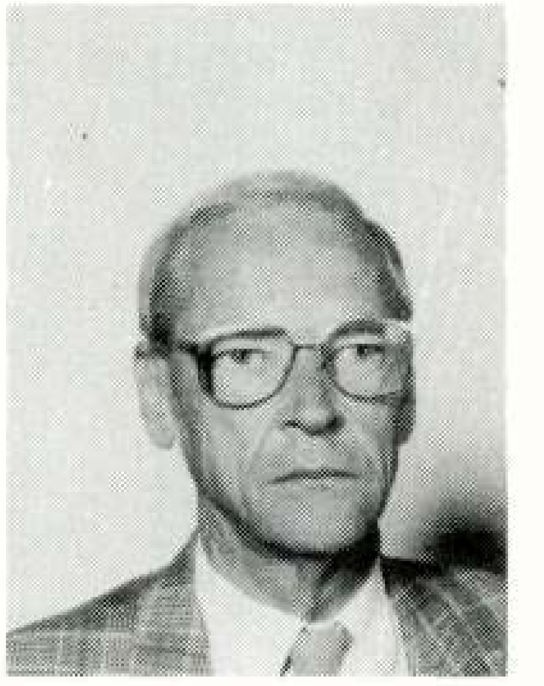
LITERATUUR

[1] AGARD CONFERENCE PAPER, Istanbul mei 1970, CP66-70, Ir. J.A. Smit
[2] De INGENIEUR, Jrg 83 no. 32 Pt. ET 99-110, 13 aug. 1971, Ir. J.A. Smit en Ing. W.B.S.M. Kneefel

Voordracht gehouden tijdens de 411e werkvergadering.

RADARONTWIKKELINGEN

Gerard A. van der Spek
Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO



RADAR DEVELOPMENTS

The introduction of new techniques and ideas has considerably enhanced the functionality of defence radar systems. Discussed are MMICs, active phased array radar, non-cooperative target recognition, propagation and adaptivity.

INLEIDING

Vernieuwingen op technologisch gebied hebben een grote invloed op de ontwikkeling van radarsystemen. Dit geldt vooral voor systemen voor militair gebruik. Radar is het belangrijkste militaire waarnemingsmiddel en is in belangrijke mate bepalend voor de effectiviteit van defensieve en offensieve wapens. De belangrijkste eigenschappen zijn het grote afstandsbereik, de slechts geringe afhankelijkheid van meteorologische omstandigheden en het onafhankelijk zijn van daglicht.

In dit artikel worden enkele ontwikkelingen geschetst die de functionaliteit van radarsystemen aanzienlijk vergroten. Aan de orde komen MMIC's, phased-array radar, doelherkenning, propagatie en adaptiviteit.

MONOLITISCHE MICROWAVE INTEGRATED CIRCUITS (MMIC's)

Complete microgolfschakelingen kunnen worden uitgevoerd in de vorm van een geïntegreerd circuit. Gebruikmaking van het materiaal Gallium Arsenide (GaAs) heeft een aantal belangrijke voordelen. Dit materiaal maakt het mogelijk goede ruiseigenschappen te realiseren. GaAs MMIC's zijn zeer licht en compact, wat van groot belang is voor toepassingen in vliegtuigen en in de ruimtevaart. De grote betrouwbaarheid van deze circuits is eveneens van grote waarde voor deze toepassingen. De goede reproduceerbaarheid is een ander sterk punt. Hoewel de initiële kosten van een MMIC hoog zijn, kunnen grotere series tegen lage kosten worden verkregen. Een voorwaarde daarvoor is wel dat een goede en efficiënte testmethode wordt toegepast [1]. Speciaal voor defensietoepassingen is het van belang dat MMIC's een grote bandbreedte kunnen hebben. Hierdoor wordt een tegenstander die wil storen (jamming) gedwongen om zijn stoorenergie uit te smeren over een groot frequentiebereik.

De militaire toepassingen van MMIC's liggen op het gebied van systemen voor elektronische oorlogsvoering en communicatie, smart ammunitions en vooral phased array radarsystemen, waarin een groot aantal zend/ontvangelementen per antennevlak nodig zijn. Afhankelijk van de gekozen opzet kunnen per element een lage ruisversterker, een fasedraaier, een mixer en een vermogensversterker als MMIC worden uitgevoerd.

Het opbouwen van goede voorzieningen voor het ontwerpen van MMIC's vereist de nodige investeringen in workstations, ontwerp-software en meet- en testapparatuur. Ook de verwerving van kennis en deskundige medewerkers is een noodzaak. Het FEL beschikt over een team van een dozijn ontwerpers met een kern van ervaren experts en over een uitstekende outillage. De ontworpen MMIC's worden door een foundry gerealiseerd, waarbij de meeste ervaring is opgedaan met de foundry van Philips Microwave Laboratory in Limeil nabij Parijs. Op een wafer van 50 mm doorsnede kan een groot aantal MMIC's worden aangebracht b.v. 350 circuits, waarvan 10 verschillende. Een voorbeeld van zo'n wafer is afgebeeld in figuur 1.

PHASED ARRAY RADARSYSTEMEN

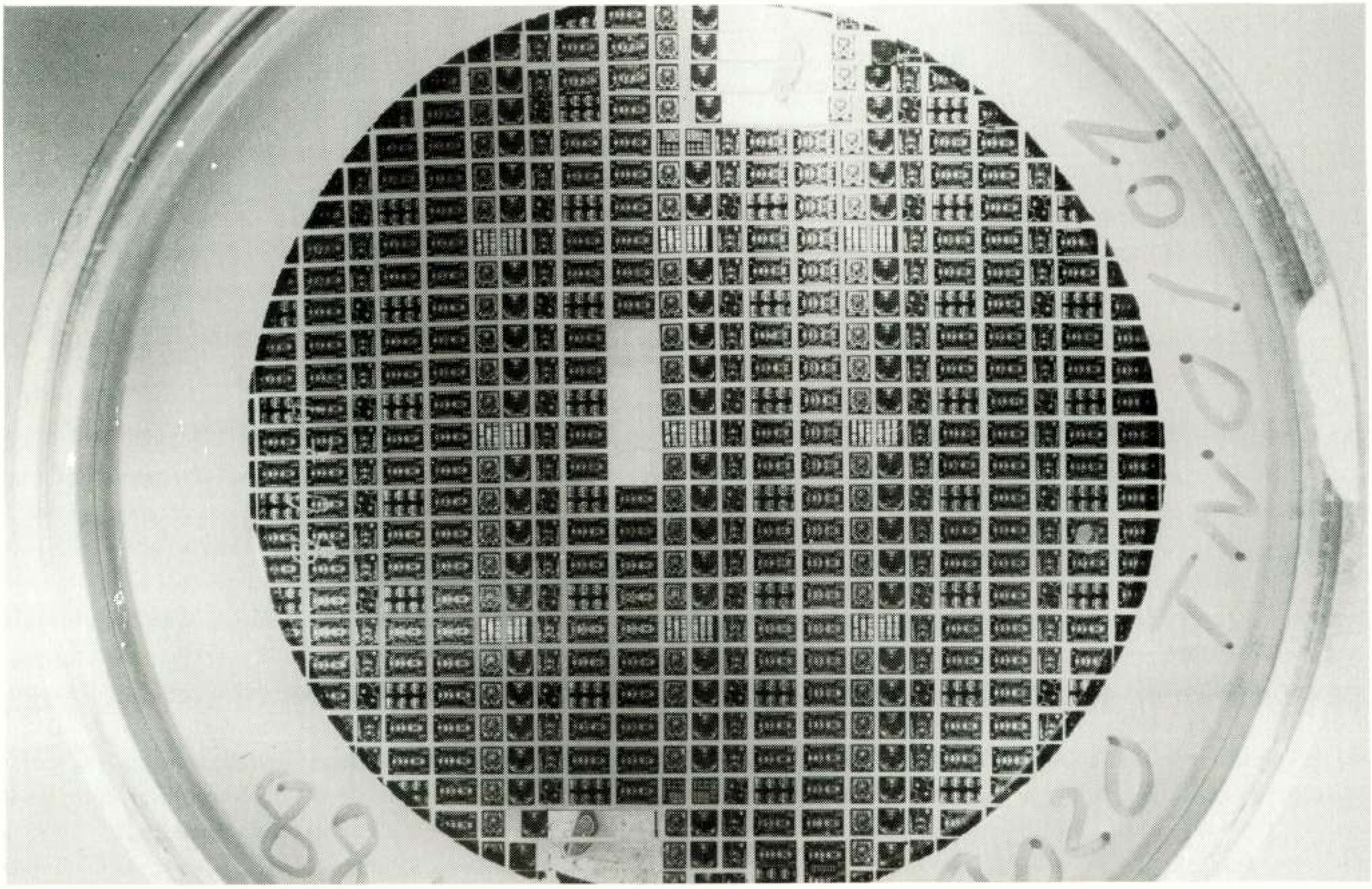
Conventionele radarantennes bestaan uit een reflector die door een hoorn wordt belicht. Door dit samenstel te laten draaien kan de omgeving worden afgetast. Een nadeel van deze opzet is dat de radar het leeuwedeel van de tijd kijkt in richtingen waarin niets van militair belang valt waar te nemen. Een fundamenteel andere aanpak wordt verkregen als het bewegen van de antennebundel niet door mechanische rotatie, maar elektronisch, dus traagheidsloos, wordt bewerkstelligd. Dit kan worden bereikt door gebruik te maken van een groot aantal stralende elementen, waarbij de fase per element instelbaar is [2,3]. Een radar met elektronisch gestuurde bundels kan een kijkstrategie volgen waarbij steeds aandacht wordt besteed aan de doelen en de zoeksectoren die een hoge prioriteit hebben.

Er zijn diverse phased array radarsystemen ontwikkeld, vooral voor militaire toepassing. In Nederland werd het experimentele FUCAS-systeem [4] gebouwd met de CAISSA-antenne. Deze antenne bestaat uit een lens van 857 fasedraaiende elementen die belicht wordt door een monopuls hoorn. CAISSA heeft met de andere eerste generatie phased arrays gemeen dat de radarenergie afkomstig is uit een centrale bron. De beïnvloeding van de fase gebeurt nadat de uit te zenden energie is verdeeld over de fasedraaiende elementen (passief). In actieve phased array antennes wordt de radarenergie opgewekt in de antenne-elementen. Op deze manier kunnen zowel fase als amplitude per element worden ingesteld en worden de microgolfverliezen verkleind. Actieve arrays werden mogelijk door de opkomst van GaAs MMIC's.

In het nationale technologieproject EXPAR (1989-'91) werkten Signaal en FEL-TNO samen aan de ontwikkeling van een kosteneffectieve zend/ontvangmodule voor een phased array antenne in de X-band (10 GHz). Enkele karakteristieken van dit ontwerp zijn een uitgangsvermogen per element van 4 watt, een bandbreedte van 30 percent en een fase-instelling met 7 bits [5].

Het grote belang van phased array radarsystemen voor militaire toepassing is gelegen in de mogelijkheid om een aantal radartaken door een enkel systeem te laten uitvoeren. Een multifunctioneel phased array radarsysteem kan de volgende taken uitvoeren:

- zoeken: het bewaken van (een deel van) de omgeving en de detectie van nieuwe doelen
- doelacquisitie: een gedetecteerd object aanwijzen voor verdere observatie
- doelvolgen: het waarnemen en voorspellen van de baan van een doel
- doelclassificatie en dreigingsevaluatie: het bepalen van de aard en de dreiging van een doel
- wapenbesturing: de inzet en de besturing van een kanon- of missilesysteem tegen een doel
- doelbelichting: het volgen en belichten van een door een eigen missile aan te vallen doel



Figuurl : Vergrote afbeelding van een GaAs wafer met een diameter van 50 mm.

– evaluatie van het resultaat van de inzet van eigen wapens.

Deze taken stellen zeer uiteenlopende eisen aan het systeem en moeten functioneel gezien parallel worden uitgevoerd binnen een structuur die gebaseerd is op het gebruik van dynamische prioriteiten. De inrichting van een militair phased array radarsysteem moet dan ook gericht zijn op een efficiënt en adaptief gebruik van radarenergie en -tijd, resolutie en draaggolffrequentie.

DOELHERKENNING

Een radarsysteem kan de plaats van reflecterende objecten meten en, door het combineren van een aantal plaatsbepalingen over een zeker tijdsinterval, snelheid en richting. Deze baangegevens zijn op zich van weinig nut als niet tevens bekend is of er sprake is van vriend of vijand. Daarvoor zijn IFF (identification friend or foe) systemen ontwikkeld waarbij in vliegtuigen gemonteerde transponders reageren op ondervraagcodes van een radarsysteem. De werking van een IFF-systeem heeft echter belangrijke beperkingen en risico's. Transponders kunnen defect zijn of niet-ingeschakeld, neutrale vliegtuigen zijn er vaak niet mee uitgerust en vijandelijke transponders kunnen zich voordoen als vriend. Er is daarom veel interesse voor het zonder IFF herkennen van doelen: non-cooperative target recognition (NCTR).

Kenmerken voor NCTR worden verkregen via het afbeelden van de radarreflectiviteit van doelen (radar cross section, RCS) in zoveel mogelijk dimensies met zo hoog mogelijke resolutie.

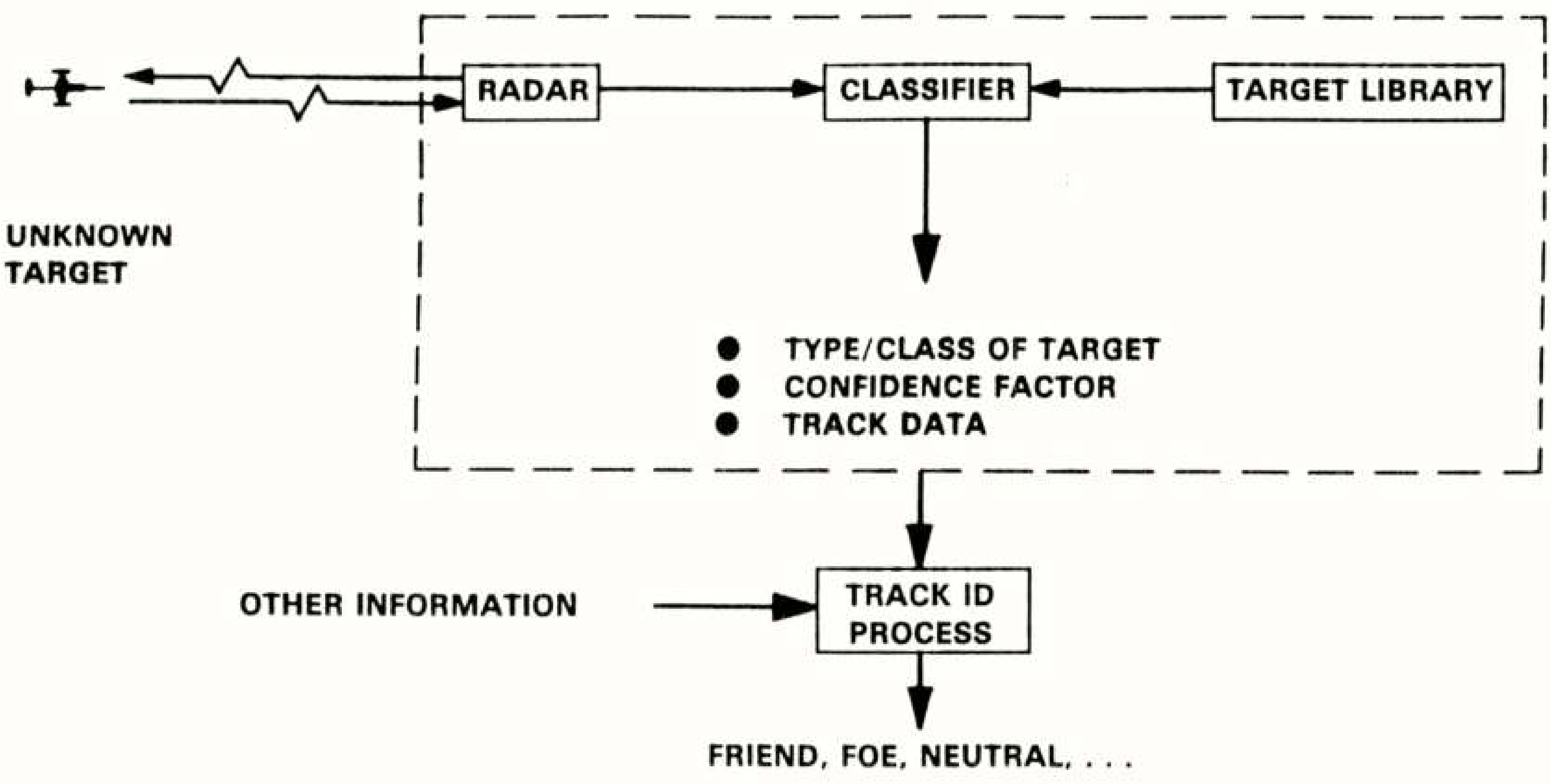
Een 1-dimensionale afbeelding, bijvoorbeeld verkregen door gebruik te maken van een breedbandig radarsignaal en puls-compressie, levert structuur en 'lengte' (projectie op de lijn radar-doel). Deze 'afbeelding' is echter niet genoeg voor herkenning van een doel.

Een 2-dimensionale afbeelding, bijvoorbeeld verkregen door een samenstelling van een aantal 1-dimensionale afbeeldingen van een doel bij veranderend aspect, heeft een groter NCTR-vermogen. Uit onderzoek op basis van fotomateriaal is bekend dat voor herkenning minstens 10x10 cellen nodig zijn.

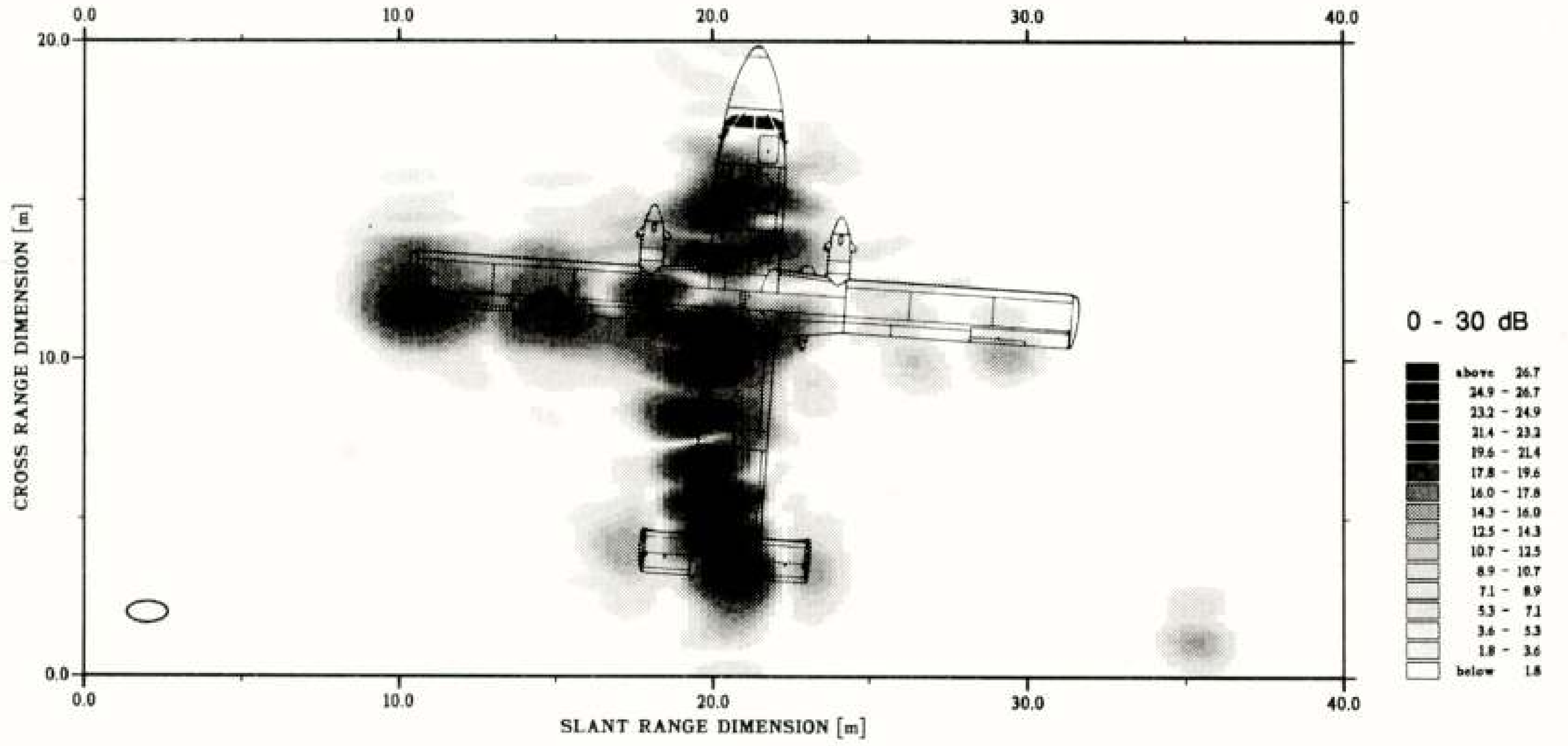
Een volgende stap is het gebruik van polarisatie bij de doelafbeelding. Per ruimtelijke resolutiecel wordt dan niet gewerkt met een enkele grootheid, de RCS, maar wordt er gebruik gemaakt van maximaal vijf kenmerkende grootheden uit de scattering matrix.

De dimensionaliteit kan ook uitgebreid worden met het frequentiedomein, waarbij gebruik gemaakt wordt van de radarechomodulatie die wordt veroorzaakt door compressor- en turbinerotorbladen van straalmotoren, propellers, en hef- en staartrotorbladen van helikopters.

Figuur 2 geeft de basisinrichting van een radar NCTR-systeem. Waarnemingen van een object worden in een classifier vergeleken met data uit een bibliotheek van doelkarakteristieken. Door combinatie met andere gegevens, bijvoorbeeld aanvliegroute, kennis van vluchtgegevens van eigen vliegtuigen, kan de conclusie vriend, vijand of neutraal worden getrokken. Een nadeel van een 2-dimensionale afbeelding zoals die kan worden verkregen door combinatie van een aantal 1-dimensionale afbeeldingen is dat de beeldopbouw, die immers gepaard moet gaan met een voldoende verandering van het doelaspect, relatief veel tijd vergt en dat de methode een grote en complexe database vereist. Voordelen zijn de ongevoeligheid voor misleidende stoorsignalen en de onafhankelijkheid van het (gemiddelde) doelaspect. Dezelfde voor- en nadelen gelden ook voor inverse synthetic



Figuur 2: Basisopzet voor niet-coöperatieve doelherkenning met radar.



Figuur 3: Afbeelding van een Short Brothers vliegtuig, verkregen met inverse synthetic aperture radar. De ellips links onder geeft de afmeting van de resolutiecel.

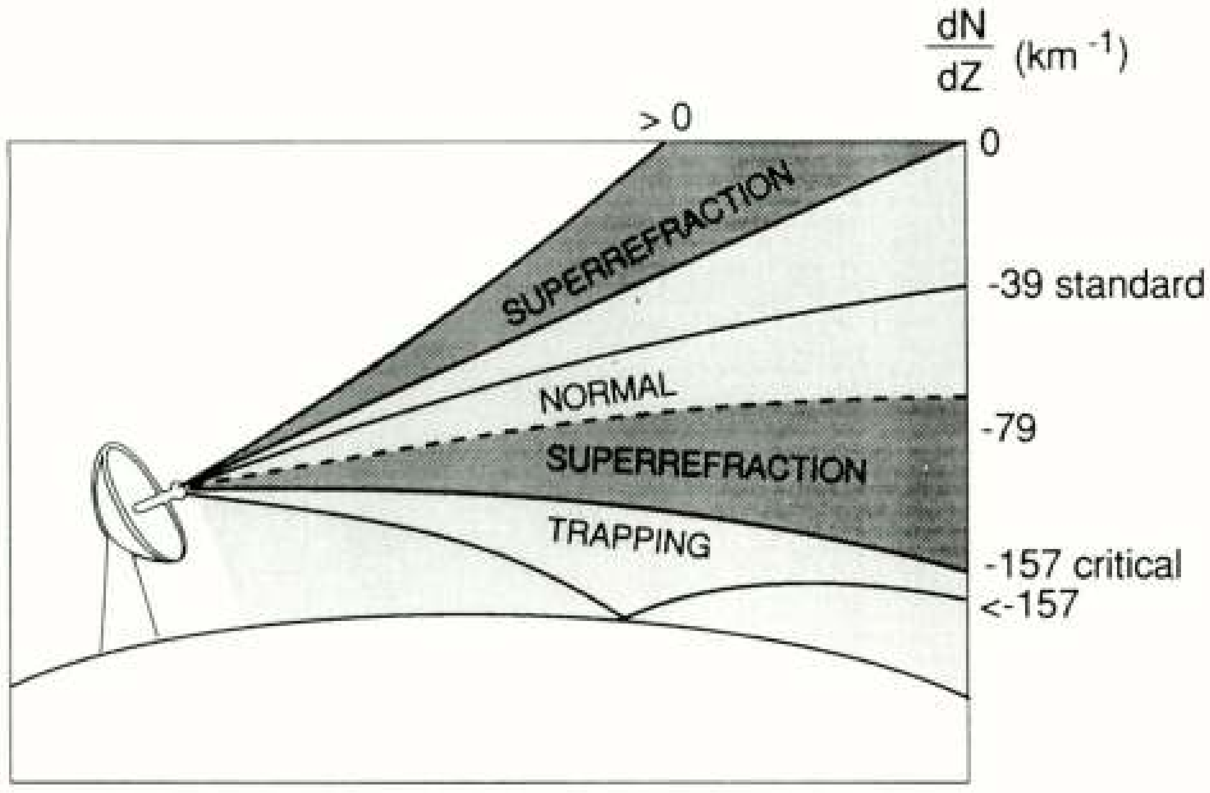
aperture radar, ISAR. Hierbij wordt in de kijkrichting een hoge resolutie verkregen door het toepassen van een breedbandig zendsignaal. Loodrecht op de kijkrichting wordt een bij voorkeur net zo hoge resolutie gerealiseerd door gebruik te maken van het geleidelijk veranderen van het aspect van een bewegend doel, waardoor als het ware een zeer grote antenne-apertuur kan worden verkregen. Na registratie van een serie coherente doelecho's kan het doel worden afgetast met een zeer smalle synthetische radarbundel [6]. In figuur 3 wordt een ISAR-afbeelding getoond van een vliegtuig van het type Short Brothers, geprojecteerd over een tekening van het vliegtuig. De radar heeft het doel van links belicht, wat tot uitdrukking komt in het vrijwel ontbreken van echo's van de rechtervleugel, die voor de radar in het schaduwgebied van de romp lag.

Bij jet engine modulation, JEM, en helicopter rotor modulation, HERM, wordt gebruik gemaakt van de optredende amplitude- en fasemodulatie-effecten. JEM en HERM lenen zich voor toepassing in bestaande radarsystemen en vereisen slechts een kleine database. Een nadeel van JEM is dat deze sterk afhangt van het aspect waaronder de radar het doel ziet. Omdat de radar in de straalmotoren van een vliegtuig moet kijken, zijn er alleen duidelijk waarneembare effecten bij waarneming binnen een kegel naar voren of naar achter.

PROPAGATIE

Aangezien radar en doelen zich veelal op slechts geringe hoogte bevinden, wordt de reikwijdte van een radarsysteem niet alleen bepaald door de effectief uitgezonden energie, maar ook door de propagatie-eigenschappen van de onderste laag van de atmosfeer. Naast reeds lang bekende zaken als 4/3 aardstraal, demping door atmosferische gassen en regen, en meerwegsinterferentie is er recent veel interesse in diffractie-effecten (waarnemen

van pop-up targets: doelen, zoals helikopters, die plotseling kunnen opduiken vanachter een bosrand of heuvelrug) en ducting verschijnselen. Ducting is vooral van belang in een maritieme omgeving.



Figuur 4: Stralengang door de atmosfeer voor verschillende waarden van de refractiviteitsgradiënt dN/dz.

In figuur 4 is schematisch aangegeven hoe de stralengang door de atmosfeer afhangt van het verloop van de brekingsindex. Er wordt doorgaans uitgegaan van een lineair verloop van de refractiviteit, N, die van de brekingsindex, n, is afgeleid volgens

$$N = (n-1)\ 10^6$$

In de troposfeer, de onderste laag van de atmosfeer, ligt N gewoonlijk tussen 250 en 400. De refractiviteit hangt af van luchtdruk, p, absolute temperatuur, T en relatieve vochtigheid, RH, volgens

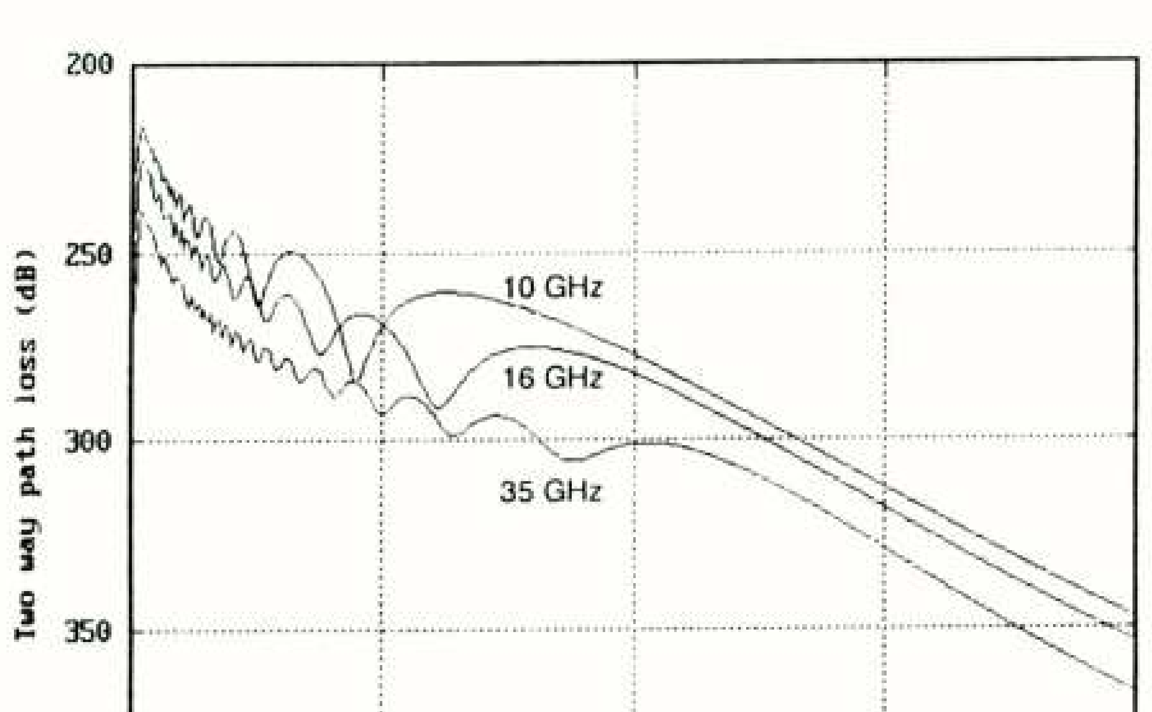
$$N = C1\ p/T + C2\ RH\ f(T)$$

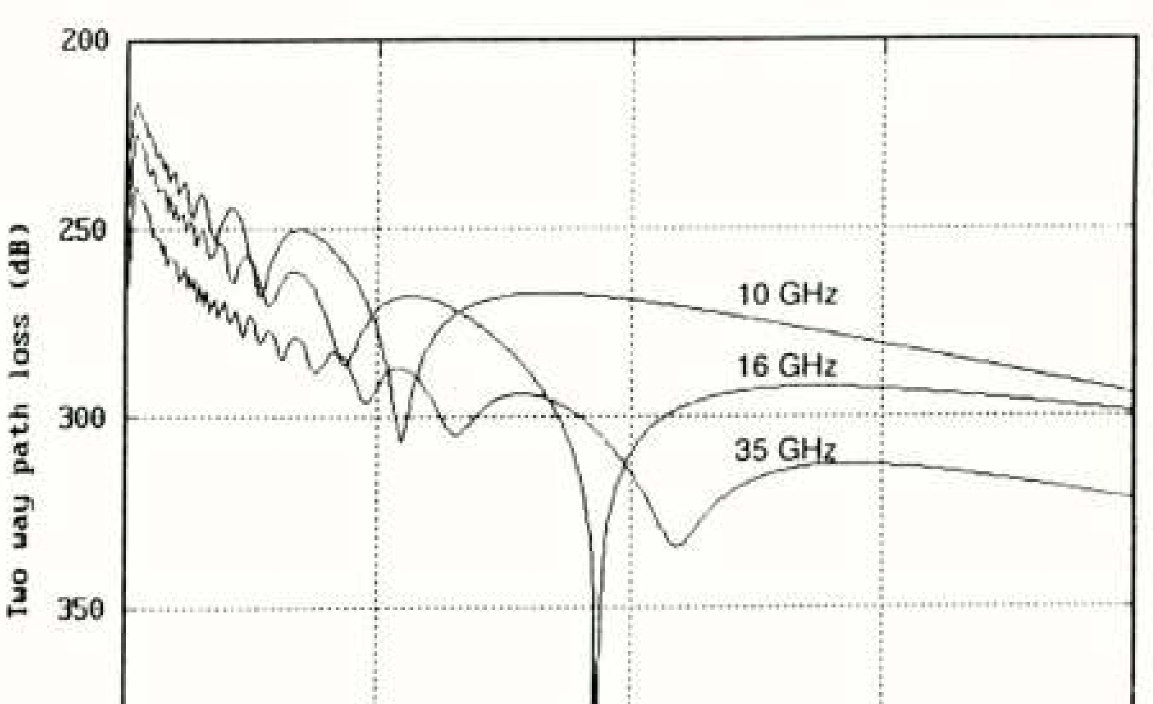
De constanten C1 en C2 en f(T) zijn zodanig dat p en RH een grotere invloed hebben op het verloop van N dan T. De gradiënt van de refractiviteit met de hoogte, z (km), is zodanig dat die normaliter inligt tussen 0 (rechte stralengang) en -79. Bij een waarde van -39 wordt gesproken van een standaardatmosfeer. Voor deze waarde van dN/dz kan de stralengang door de atmosfeer door rechte lijnen worden aangegeven als de feitelijke straal van de aarde met 4/3 wordt vermenigvuldigd. Als de refractiviteits-gradiënt positief is, wat slechts in een beperkte luchtlaag mogelijk is, buigen de stralen omhoog en spreken we van sub-refraction. Het waardegebied tussen -79 en -157 wordt aangeduid met superrefraction. Aan de ondergrens ervan (critical) blijft een horizontale straal evenwijdig met het aardoppervlak lopen. Is de gradiëntwaarde lager dan -157 dan treedt ducting of trapping op. Deze conditie wordt ook wel aangeduid als een lekke golfgeleider: de stralen die na reflectie op het aardoppervlak omhoog gaan worden weer naar de aarde teruggebogen. De laatste jaren is gebleken dat deze situatie zich boven zee vrijwel steeds voordoet, waardoor het radarbereik aanzienlijk groter kan uitvallen dan boven land. Boven zee is er dan sprake van een evaporation duct, die wordt veroorzaakt door een exponentiële afname van de relatieve vochtigheid met de hoogte. De dikte van de evaporation duct ligt veelal tussen 2 en 40 m. Omdat er, vooral bij lage frequenties, energie weglekt is er alleen sprake van een significant effect bij frequenties boven 3 GHz.

In figuur 5 is het effect van ducting zichtbaar gemaakt. Links is er geen duct en rechts is er een duct met een hoogte van 8 m. Het verloop van het padverlies (heen en terug) voor een radarantenne op 20 m hoogte en een halfvermogensbundelbreedte van drie graden is weergegeven voor frequenties van 10, 16 en 35 GHz als functie van de afstand. Het valt op dat ducting naast afname van het padverlies een verschuiving en versterking van het multipadeffect veroorzaakt.

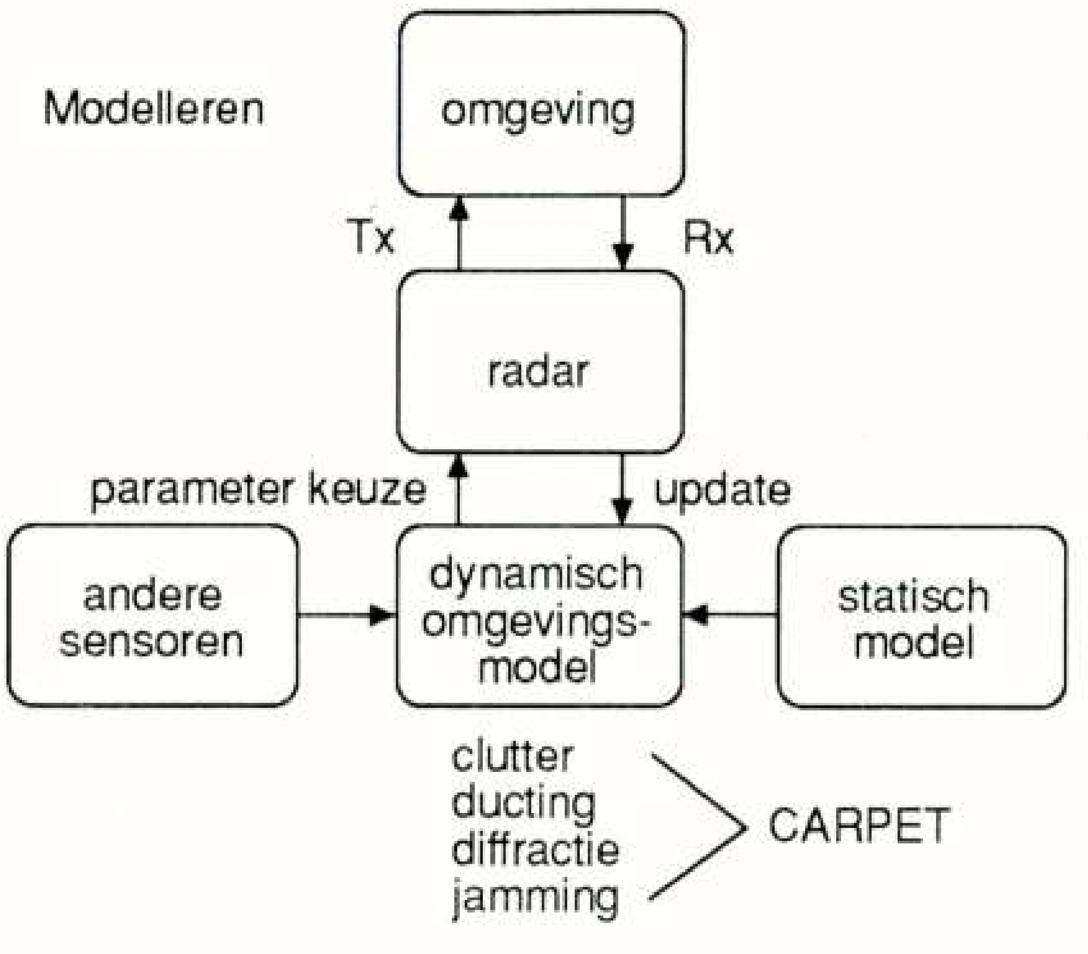
ADAPTIVITEIT

Een actief phased array radarsysteem mag dan als sterke troef hebben dat het multifunctioneel is en dus in de plaats kan komen van een aantal radarsystemen, er moet echter wel gewoekerd worden met de beschikbare schaarse middelen radarenergie en -tijd. Dit betekent dat er een optimaal gebruik gemaakt moet worden van kennis van de omgeving. Deze kennis berust op statische informatie b.v. in de vorm van geografische gegevens die vertaald kunnen worden in landclutter, en veranderlijke gegevens die gebaseerd zijn op data afkomstig van andere sensoren of het radarsysteem zelf. Het laatste geval betreft informatie over regenclutter, propagatie en jamming. Ook informatie over sectoren waarin vijandelijke activiteiten





Figuur 5: De demping (2-wegs) boven vlak water zonder (links) en met (rechts) ducting voor 3 draaggolffrequenties. De antenne staat op een hoogte van 8m, het doel bevindt zich op 20m. De ducthoogte is 8m. De vertikale bundelopening is 3 graden



Figuur 6: Combinatie van informatie van verschillende sensoren en statische en dynamische omgevingsmodellen in een adaptief radarsysteem.

worden verwacht is zeer waardevol. De invloed van clutter kan worden bestreden door een coherente reeks van zendpulsen te combineren met doppler of MTI (moving target indication) processing bij ontvangst. Bij jamming kan worden uitgeweken naar niet gestoorde draaggolffrequenties, kunnen er nullen in het gevoeligheidspatroon van de antenne worden aangebracht of moet er, noodgedwongen, in bepaalde richtingen meer energie worden uitgezonden. Zoals we reeds zagen kan de keuze van de draaggolffrequentie ook veel invloed hebben op het padverlies. Door gebruik te maken van een model dat de relatie legt tussen instelbare parameters van het radarsysteem en de prestatie ervan, bijvoorbeeld in termen van het afstandsbereik, kan radartijd en -energie naar behoefte worden besteed. In figuur 6 is deze samenhang in beeld gebracht.

Een model waarmee de parameterkeuze in principe kan worden verricht is CARPET, computer aided radar evaluation and radar performance tool, dat op het FEL is ontwikkeld en door Artech House op de markt wordt gebracht. In [7] wordt een methode aangegeven om het rekenintensieve optimaliseringsproces te bespoedigen.

CONCLUSIE

De geschetste ontwikkelingen betreffen een keuze, waarbij een zekere nadruk valt op de militaire maritieme toepassingen. Zij tonen een onderzoeks- en toepassingsgebied dat volop in de belangstelling staat, omdat radar het belangrijkste militaire waarnemingsmiddel is en het toepassen van nieuwe technologieën en ideeën leidt tot systemen die meer kunnen en betere prestaties leveren.

REFERENTIES

[1] F.L.M. van den Bogaart, "RF on-wafer probing of GaAs MMIC's at TNO-FEL", Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap, deel 57, nr. 3, pp 109-113, 1992.

[2] W.H. Kummer, "Basic array theory", Proc. IEEE, vol. 80, no. 1, Jan. 1992, pp 127-140.

[3] D.N. Quiddy et al., "Transmit/receive module technology for X-band active array radar", Proc. IEEE, vol. 79, no. 3, Mar. 1991, pp 308-341.

[4] G.A. van der Spek, "FUCAS, een experimenteel phased-array radarsysteem", Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap, deel 44, nr. 2, pp 87-92, 1979.

[5] F.L.M. van den Bogaart, J.G. Bij de Vaate, "Production results of a transmit/receive-MMIC chip set for a wide band phased-array radar at X-band", MM '92 Conference Proceedings, pp 138-143.

[6] D.A. Ausherman et all., "Developments in radar imaging", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-20 (July 1984), pp 363-400.

[7] A.G. Huizing, J.A. Spruyt, "Adaptive waveform selection with a neural network", Radar 92, IEE Conference Proceedings No. 365, pp 419-421.

Voordracht gehouden tijdens de 411e werkvergadering.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP

412e werkvergadering

UITNODIGING voor de lezingenmiddag donderdag 6 mei 1993 in "Stichthage" (boven het Centraal Station), Koningin Julianaplein 15, Den Haag.

THEMA: PRIVACY EN SOCIALE ASPECTEN VAN TELECOMMUNICATIE

PROGRAMMA:

15.00 uur: Opening
DRS. ING. TON DRIESEN, Directie PTT Telecom

'Altijd en overal'
DR.IR. PIETER VAN HOOGSTRATEN, Strategie en Ontwikkeling PTT Telecom

'ABC voor telematicatoepassingen'
PROF.DR. ERIK ANDRIESSEN, TU Delft

'Ik ben er wel , maar ik zeg het niet'
DR. PAUL SLAA, Universiteit van Amsterdam

'Ik ben er niet' – grenzen van sociale controle
DR. PETER HOFSTEDE, Media Consultant, freelance consultant

Forumdiscussie met stellingen

19.00 uur: Borrel en sluiting

Als het gaat over nieuwe ontwikkelingen op het gebied van telecommunicatie, gaan onze gedachten vaak eerst uit naar de vele nieuwe technische mogelijkheden. Het wordt echter steeds duidelijker dat, juist door die nieuwe technieken, de telecommunicatie diep kan ingrijpen op ons dagelijks leven en op de maatschappij als geheel. Wat zijn bijvoorbeeld de gevolgen van *21 voor groepen personen? Of wat zijn de gevolgen als iedereen straks overal bereikbaar is?

U kunt alvast bijdragen aan de forumdiscussie door op de aanmeldingskaart een stelling over privacy en sociale aspecten van telecommunicatie te formuleren.

Aanmelding voor deze middag dient te geschieden vóór 24 april aanstaande door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 70 cent. De lezingenmiddag is gratis en alleen toegankelijk voor leden van GIR, NERG, Kivi afdeling telecommunicatie, IEEE en JAP.

Namens het NERG,
Ir. P.R.J.M. Smits

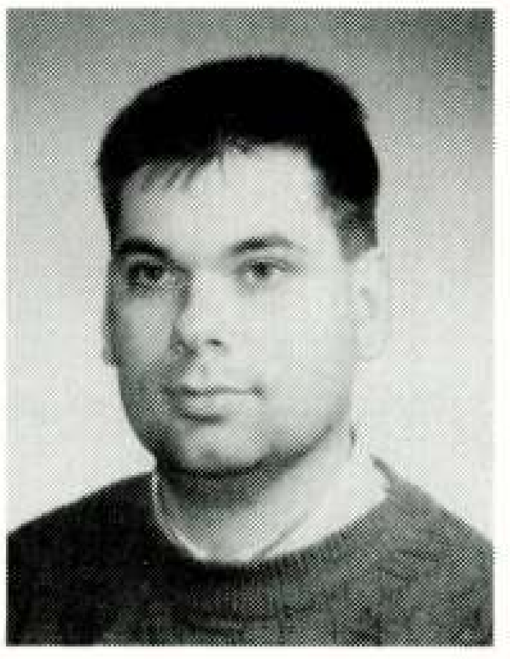
Den Haag, maart 1993.

SHIELDING OF A CASSEGRAIN ANTENNA SYSTEM FOR INTERFERENCE REDUCTION

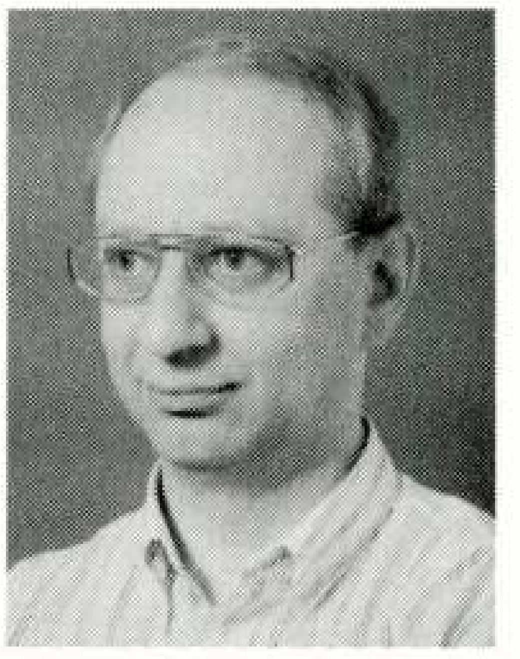
H.J.F.G. Govaerts (student), ir. G.A.J. van Dooren, and dr.ir. M.H.A.J. Herben
Technische Universiteit Eindhoven



H.J.F.G. Govaerts



ir. G.A.J. van Dooren



dr.ir. M.H.A.J. Herben

The paper describes the off-axis radiation-pattern calculation of a Cassegrain antenna system with prescribed geometrical parameters, in the absence and presence of a (hypothetical) half-plane obstacle. The attenuation caused by the site-shielding obstacle as function of antenna orientation and position is calculated and some typical results are presented using the site-shielding factor. The results for half-plane shielding of the double-reflector system are compared with those obtained for a single-reflector antenna system shielded by an identical obstacle. Further, three different, but related, approaches for calculating the additional propagation loss for an interfering signal that enters a Cassegrain antenna system are presented and compared. Finally, conclusions concerning the models and the results are drawn.

1. INTRODUCTION

Frequency sharing in present-day radio-communication systems may lead to mutual interference between different communication links. For instance, if an earth station receives a (wanted) signal from a satellite, it may simultaneously receive an unwanted signal from a terrestrial transmitter due to anomalous propagation conditions, and permissible levels of interference may be exceeded. To tackle such a problem, several interference-reduction techniques are available [1,2,3]. One of these techniques can be applied on the unwanted propagation path, such that the wanted signal remains unaffected. This method is called site shielding. The additional propagation loss on the unwanted propagation path is caused by blockage of the interfering wave by some obstacle, either man-made or natural. Possible obstacles are hills, vegetation, embankments or pits, buildings, fences, and screens [1]. Since these obstacles all have finite dimensions, the unwanted signal will not be blocked completely, and even if the receiving terminal is in the optical shadow for the unwanted signal, it will still receive interfering contributions due to diffraction of the unwanted signal at the obstacle edges. A figure of merit for the shielding effectiveness is the site-shielding factor (SSF), which is defined as the ratio of the received power of the interfering signal in the absence and the presence of the obstacle [4].

In a recent study [5], the field distributions behind different man-made obstacles were calculated using the uniform theory of diffraction (UTD) [6]. With this theory, the obstacles are assumed to be large in terms of wavelengths (λ), and for simplicity they are assumed to be perfectly conducting. The present paper focuses on the shielding of a Cassegrain antenna system by a half plane with given height.

A Cassegrain antenna system consists of a large paraboloidal mainreflector, a small hyperboloidal subreflector, and a horn feed. The influences of all other elements of this antenna system are neglected in this first analysis. In figure 1 part of a cross section of the system can be found.

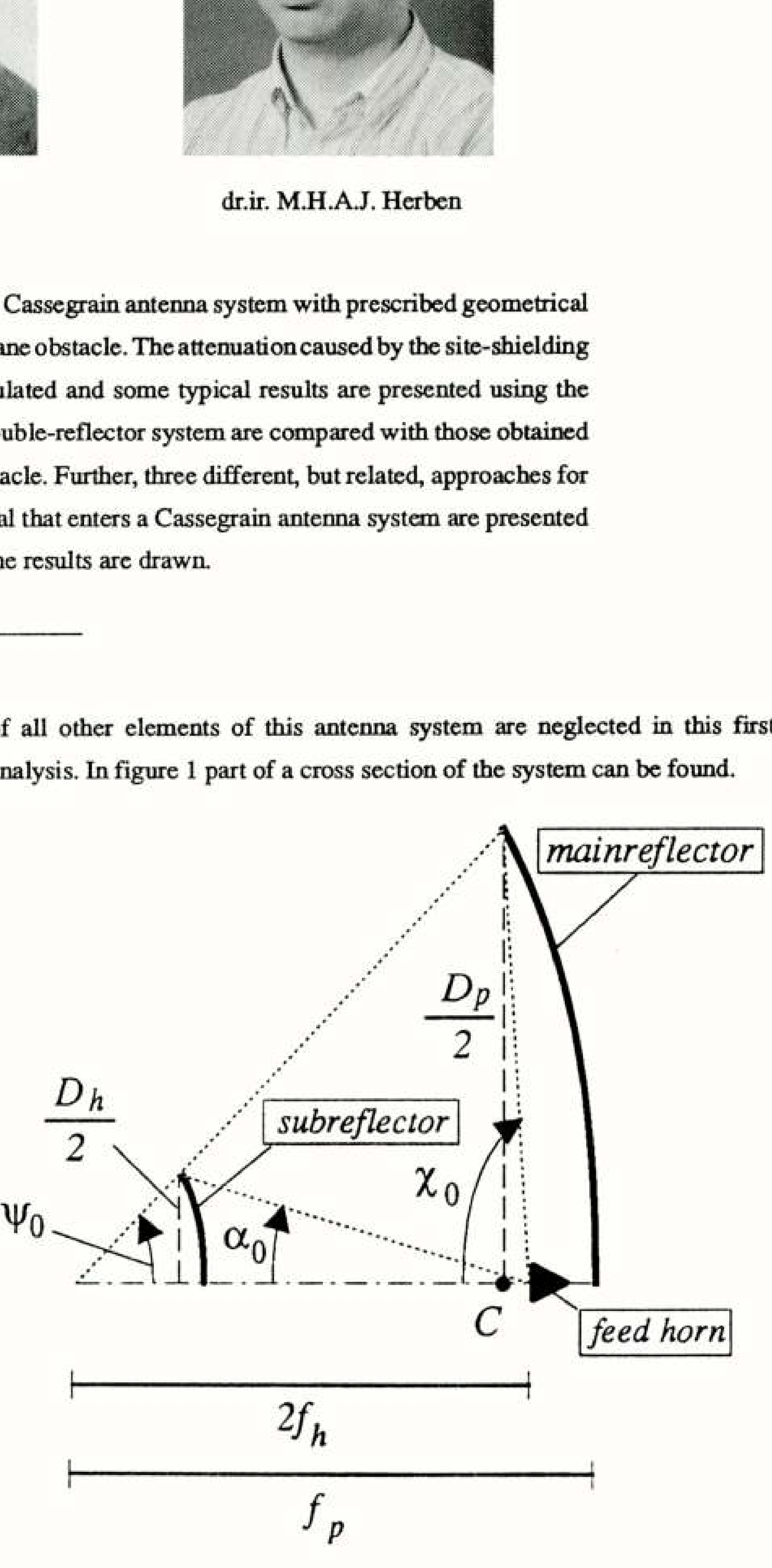


Figure 1: Geometry of a Cassegrain antenna system

The interrelations between the various parameters indicated in the figure can be determined from (straightforward) geometry [7], and will not be given here. The antenna is expected to be pointed to a satellite, i.e. the wanted signal enters from 'boresight'. The unwanted signals do in general not enter from boresight, which means that the off-axis receiving properties

of the antenna are of primary interest for the site-shielding analysis. We will therefore calculate the receiving patterns (which correspond to the radiation patterns by reciprocity) as a function of the antenna orientation in terms of azimuth and elevation angle. The presence of both reflectors on the path from the signal source to the feed horn will cause additional interfering diffraction and reflection contributions that are significant in the near-field situation.

Note that UTD can be used to model the interaction of the incident wave with the obstacle, as well as the interaction of the (obstacle-diffracted) wave with the reflector rims. For this reason the presence of the obstacle in the shielded configuration is actually the introduction of an additional (w)edge on the propagation path of the interfering wave.

number	order	type	ray path	#rays
1	$O(k^0)$	direct ray	$SC \rightarrow F$	1
1*		reflected ray	$SC \rightarrow M_R \rightarrow S_R \rightarrow F$	0
1**			$SC \rightarrow M_R \rightarrow F$	0
2	$O(k^{-1/2})$	diffracted ray	$SC \rightarrow S_D \rightarrow F$	2
3			$SC \rightarrow M_D \rightarrow F$	2
4		diffracted reflected ray	$SC \rightarrow M_D \rightarrow S_R \rightarrow F$	2
5			$SC \rightarrow S_D \rightarrow M_R \rightarrow S_R \rightarrow F$	2
6	$O(k^{-1})$	double-diffracted ray	$SC \rightarrow M_D \rightarrow S_D \rightarrow F$	2
7			$SC \rightarrow S_D \rightarrow M_D \rightarrow F$	2
8			$SC \rightarrow S_D \rightarrow S_D \rightarrow F$	2
9			$SC \rightarrow M_D \rightarrow M_D \rightarrow F$	2
10		double-diffracted and reflected ray	$SC \rightarrow M_D \rightarrow S_D \rightarrow M_R \rightarrow S_R \rightarrow F$	2
11			$SC \rightarrow S_D \rightarrow S_D \rightarrow M_R \rightarrow S_R \rightarrow F$	2
			total	21

Table 1: Ray contributions in a Cassegrain antenna system

In the following we will first focus on the calculation of the off-axis receiving pattern of an unshielded Cassegrain reflector system. Subsequently, the half plane is included and the (off-axis) receiving pattern of the shielded configuration is determined. Then the receiving properties of a single- and double-reflector antenna shielded by a half plane are compared. Further, results of shielding a Cassegrain system based on near- and far-field analyses are given and finally, conclusions concerning the presented model and the results are drawn.

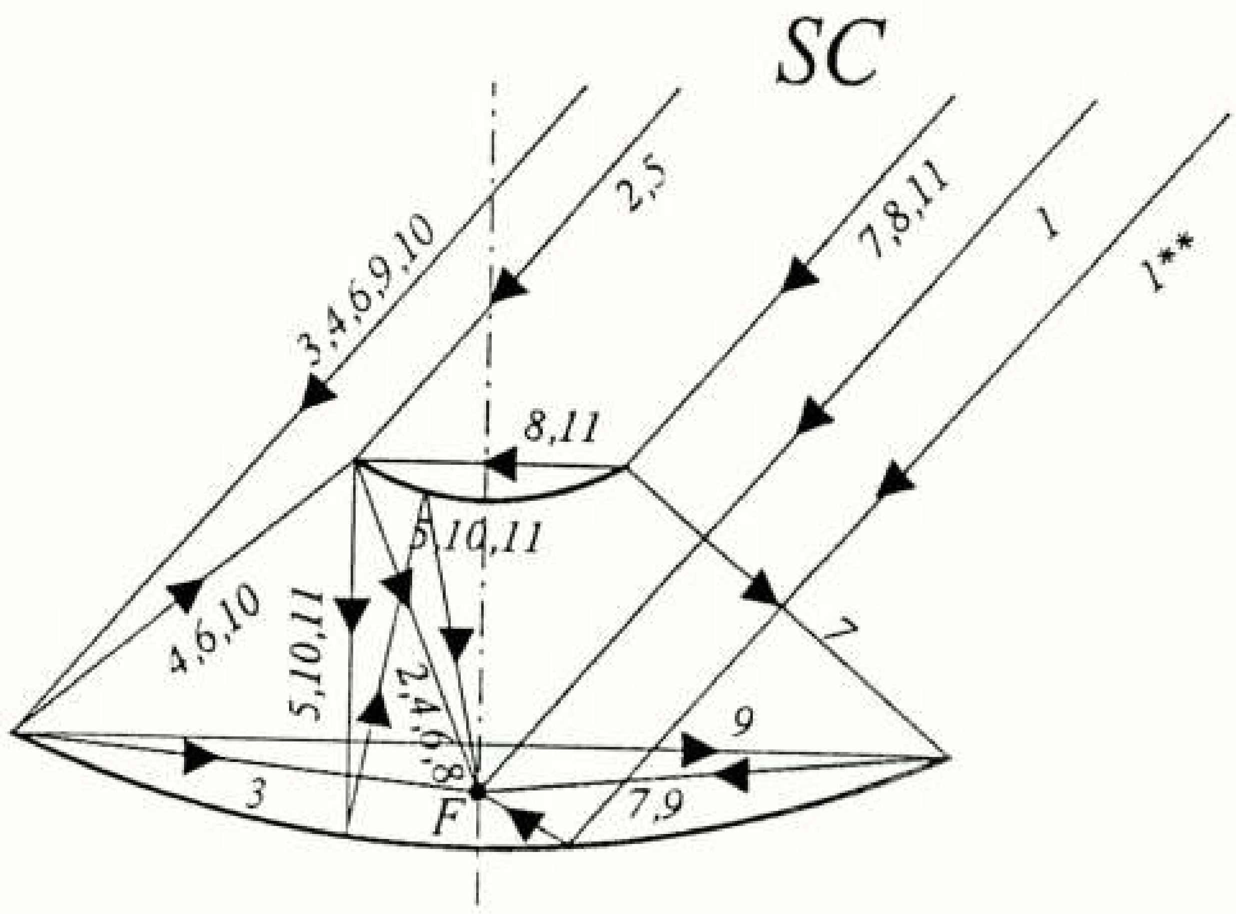


Figure 2: Ray trajectories in a Cassegrain antenna system

2. RADIATION-PATTERN CALCULATION

Despite the fact that the Cassegrain antenna system has been widely used as a ground-station antenna in satellite communications, few results of determining the off-axis radiation pattern have been reported in the literature [8,9]. Furthermore, few details concerning the methods used can be found, or omissions are present. In [8], for instance, a combined ray approach is used, i.e. the rays are not separately traced through the antenna system, while in [9] only main-beam patterns are given.

We have calculated the off-axis radiation pattern of a Cassegrain system using geometrical optics (GO) and UTD. The following approach has been used in determining which ray contributions should be included in the analysis. On forehand a table is generated of most important ray contributions on basis of physical insight and asymptotic behaviour of the GO and UTD contributions. These ray contributions are separately traced through the antenna system and each ray is spatially weighed by the feed receiving pattern. The individual complex ray contributions are then added to give a measure for the received power at the feed terminals. The received electric field at the feed $\boldsymbol{E}^t(\boldsymbol{F})$ is found according to:

$$E^t(F) = \sum_{l=1}^{L} B_l \, G(\theta_l) \, \vec{E}_l(F) \cdot \hat{e}_{pol}(\theta_l, \varphi_l), \quad (1)$$

where $\boldsymbol{B}_l \in \{\boldsymbol{0,1}\}$ is a function accounting for possible blockage of ray paths, $\boldsymbol{G}(\theta_l)$ is the voltage gain of the feed for rays with angle of arrival θ_l, θ_l and φ_l are defined in a spherical-coordinate system with origin at the feed position, $\vec{E}_l(F)$ is the l'th ray contribution arriving at the feed, and $\hat{e}_{pol}$ is the polarization vector of the feed. Using the latter, co- and cross-polar field components can be distinguished. The ray contributions in a descending order in terms of $\boldsymbol{k}=2\pi/\lambda$ can be found in table 1 and figure 2. Here, the source position is indicated by SC. The sub- and mainreflector are indicated by S and M, respectively, while the diffraction and reflection mechanisms are abbreviated by subscripts D and R, respectively. The feed position is denoted by F.

From numerical analyses we found that it is sufficient to include contributions up to order k^{-1}, resulting in a total number of rays $\boldsymbol{L}$ of 21. Note that the wave contribution corresponding to (double) reflection (1*) only reaches the feed if the wave is incident from boresight, and since this is not an off-axis contribution, it is omitted in our analyses. The contribution corresponding to reflection at the mainreflector (1**) is found to be negligible for our simulations. Depending on the specific geometry it should be investigated, however, whether this exclusion is justified.

The feed pattern used is the theoretical gain function of a corrugated horn [3,10]; in the forward angular region the voltage gain is modeled by a power of a cosine, and in the backward angular region it is given by a constant. In the analyses it is assumed that the feed possesses the polarization properties of a Huygens source. Two directions of polarization are defined: horizontal and vertical polarization. The horizontal (vertical) polarization corresponds to a polarization perpendicular (parallel) to the azimuthal plane (i.e. a plane of constant azimuth).

According to UTD, the incident interfering waves can reach the feed only via special ray paths. These paths are determined by the locations of the diffraction and reflection points, which can be found using Fermat's principle of stationary optical path length. It is obvious that the reflection points are part of some reflector surface, while the diffraction points are located at reflector or obstacle edges. Further assumptions in the analysis are: the reflectors are also perfectly conducting, no reflection occurs at the earth's surface, and the interfering wave is locally plane. Blockage effects

by both reflectors have been included according to a method described in [11].

Typical off-axis radiation patterns are calculated for a Cassegrain system with the following parameters: $\mathbf{D_p=20\lambda}$, $\mathbf{f_p/D_p=0.4}$, $\mathbf{D_h/D_p=0.133}$, and $\mathbf{f_h=2.44\lambda}$ [8,12]. The feed properties are chosen in such a way that there is a 15 dB illumination taper across the subreflector, a forward feed gain of 21.5 dBi, and a relative rear radiation of -50 dB. In figures 3 and 4 a number of individual contributions in the E-plane (i.e. horizontally-polarized) pattern calculation are shown as function of the azimuth angle.

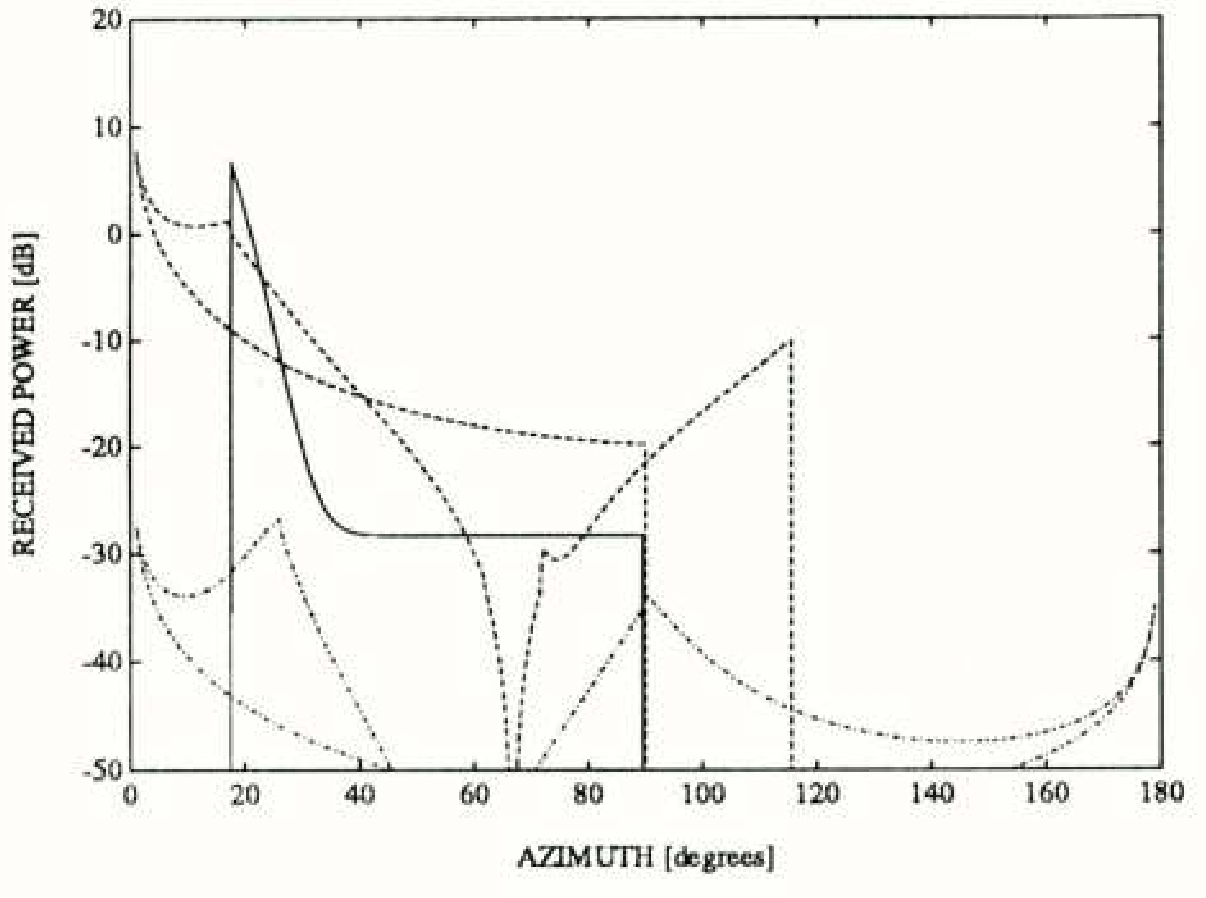


Figure 3: Individual contributions of rays 1 (solid), 2 (dashed), and 3 (line-dotted)

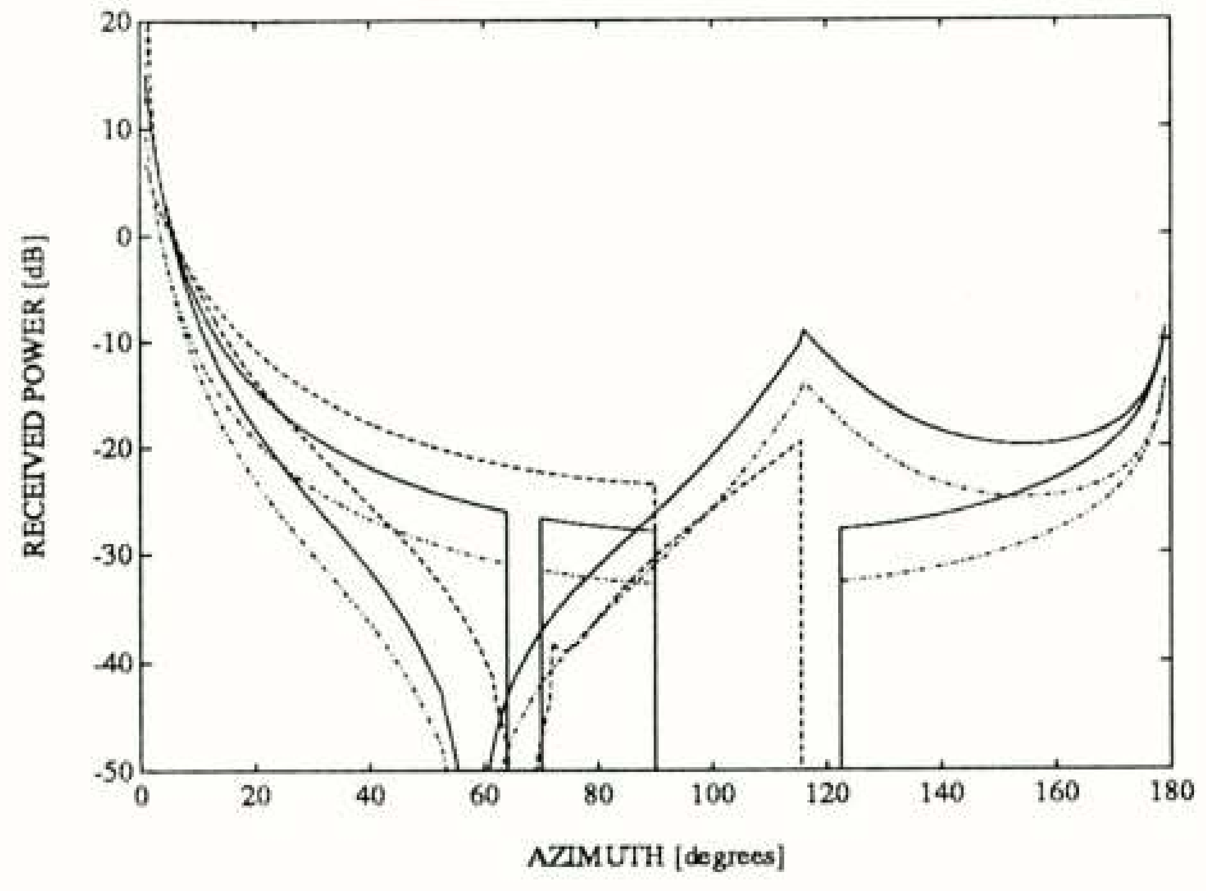


Figure 4: Individual contributions of rays 4 (solid), 5 (dashed), and 6 (line-dotted)

In these figures the blockage by sub- and mainreflector can clearly be observed. Also the discontinuities of the diffracted field at shadow boundaries can easily be found. In figure 5 the resulting E- and H-plane radiation patterns based on equation (1) are given.

Note that for an elevation of 0° the directions φ_a=0° and φ_a=180° are caustic directions, around which UTD cannot be applied. Other methods should be addressed to correctly evaluate the field for these directions [13,14,15].

If the results reported in [8] are compared with ours for an identical antenna

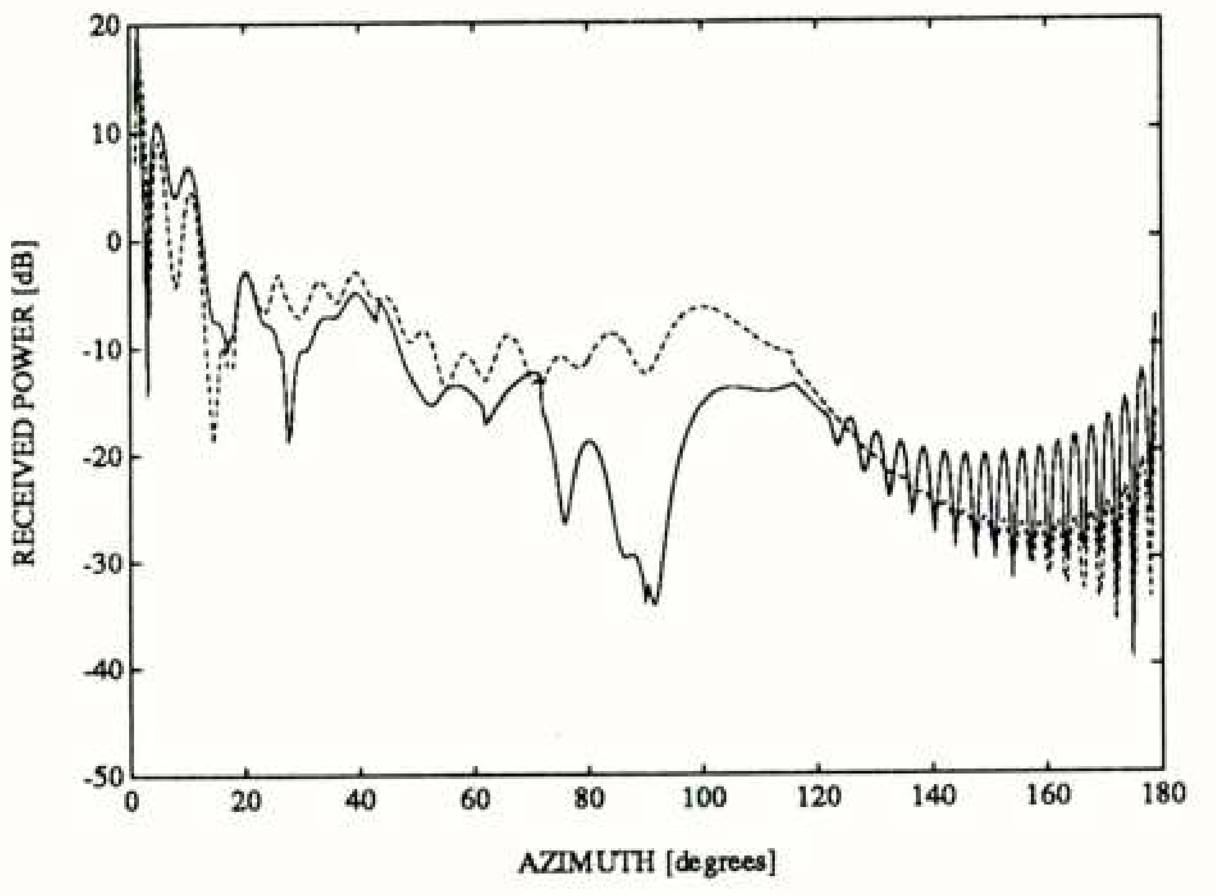


Figure 5: Off-axis E- (solid) and H-plane (dashed) patterns of a Cassegrain system

geometry, it is found that there exists good agreement in the E- and H-plane radiation patterns, except in the regions for an azimuth angle of 70° to 90° [10]. To our opinion this is caused by the incorrect combined-ray approach as performed in [8], while we have used a (correct) separate tracing of individual rays.

3. SITE-SHIELDED CONFIGURATION

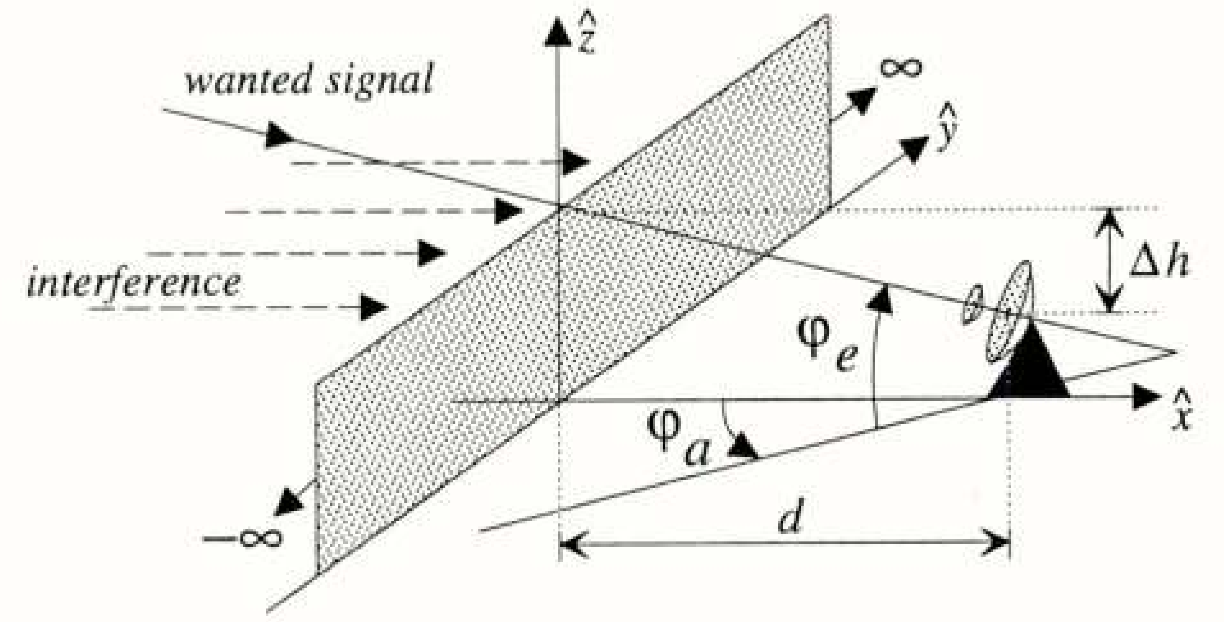


Figure 6: Site-shielded configuration

The geometry for interference reduction can be found in figure 6. With the obstacle present, the analysis remains nearly the same. The main difference is that in the shielded case the interfering wave is subject to diffraction at the obstacle edge, and therefore in general the angle of arrival (AOA) as seen from the antenna is different in comparison with the AOA in the unshielded configuration. Furthermore, the wave incident on the antenna system has a cylindrical phasefront, since this diffracted wave seems to be generated by an infinitely-long line source positioned at the obstacle edge. The locations of the diffraction and reflection points on the reflectors are again found using Fermat's principle. The obstacle-diffraction points are found from a projection of the antenna-edge points onto the obstacle edge. In the analysis of the shielded configuration it is assumed that the complete antenna is in the optical shadow region behind the half-plane obstacle. Furthermore, the antenna is slightly elevated such that the wanted satellite signal is not obstructed by the obstacle. For this reason

the elevation angle φ_e is chosen to be 20° and the distance in height Δh between the obstacle edge and the aperture centre C is 100λ. Further, the separation of antenna and obstacle, denoted by d, is taken 1000λ.

Results for both vertical and horizontal polarization can be calculated as function of φ_a. To find some kind of average of the signal response at the feed terminals, a so-called power sum is employed [10]:
where $M<L$. Equation (2) resembles the calculation of the Euclidian length of a vector in an M-dimensional space, where it is assumed that all M rays

$$E^t(F) = \sqrt{\sum_{m=1}^{M} | B_m \, G(\theta_m) \, \overrightarrow{E_m}(F) \cdot \hat{e}_{pol}(\theta_m,\varphi_m) |^2}, \qquad (2)$$

within the antenna system are independent. Note that the waves entering the antenna system at the same point do not have an independent phase relation and therefore must be added on a complex basis. This results in five independent terms, i.e. M=5 [10,12]. The results for an antenna system as defined in the previous section are shown in figure 7.

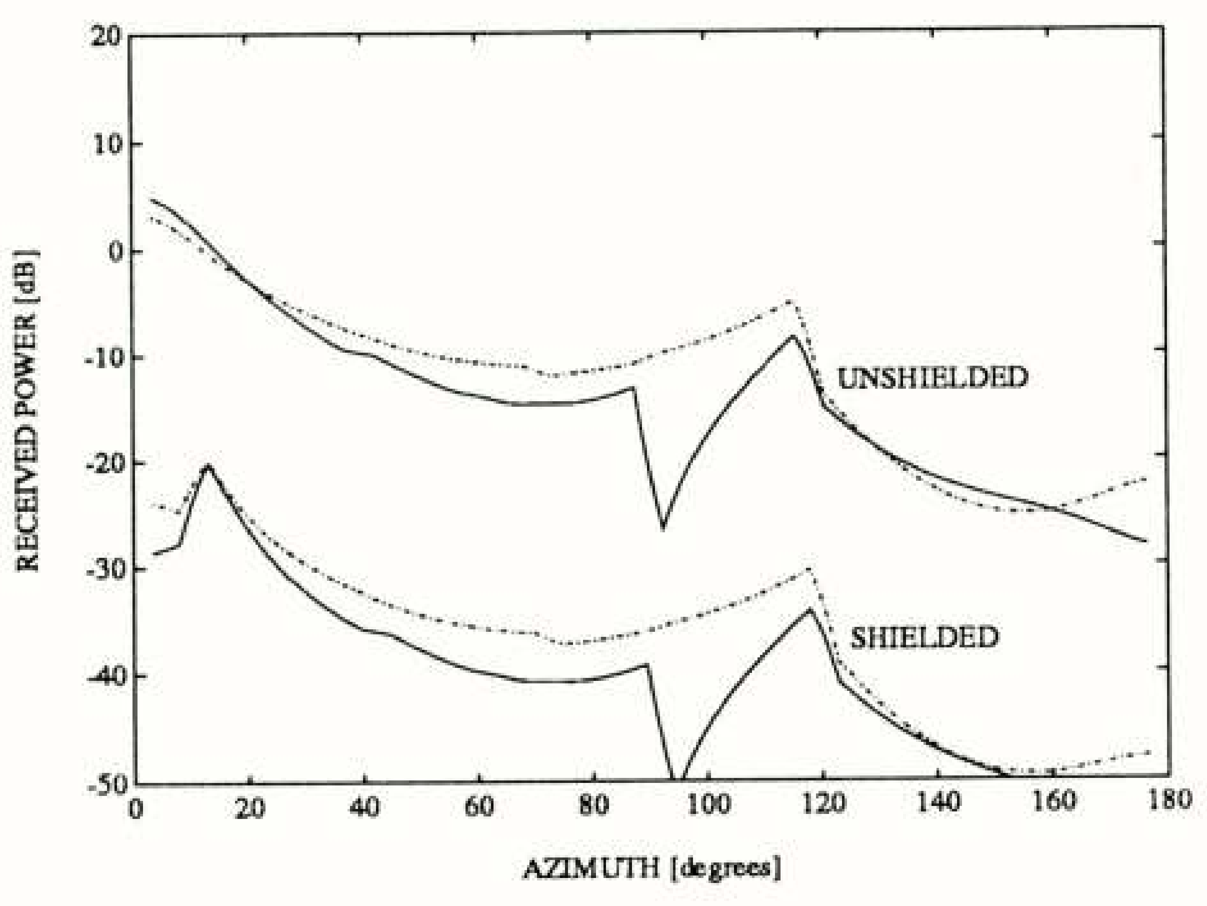


Figure 7: Antenna receiving patterns for horizontal (solid) and vertical (line-dotted) polarization

As mentioned before, the ratio of the received field in the absence and the presence of the obstacle is a measure for the effectiveness of the shielding, and is called the site-shielding factor (SSF) [4]. The SSF deduced from the patterns in figure 7 is shown in figure 8 for both vertical and horizontal polarization. It is found from this figure that the polarization, in this specific case, does not strongly influence the SSF as function of φ_a. Note that similar calculations can be carried out as function of elevation angle φ_e [10], separation d [4,5], or height difference Δh.

4. COMPARISON OF SINGLE- AND DOUBLE-REFLECTOR ANTENNA SHIELDING

The analysis of the shielding of a double-reflector antenna raises the question whether the antenna type is of importance in the site-shielding calculations. The calculation of the SSF of a single-reflector antenna shielded by a half plane has been discussed in [5], and it is based on the work of Scheeren [3]. Some important results presented in [3] have been reproduced and compared with the double-reflector shielding results [10,5]. The parameters used are: D_p=100λ, f_p/D_p=0.4, D_h/D_p=0.15, and

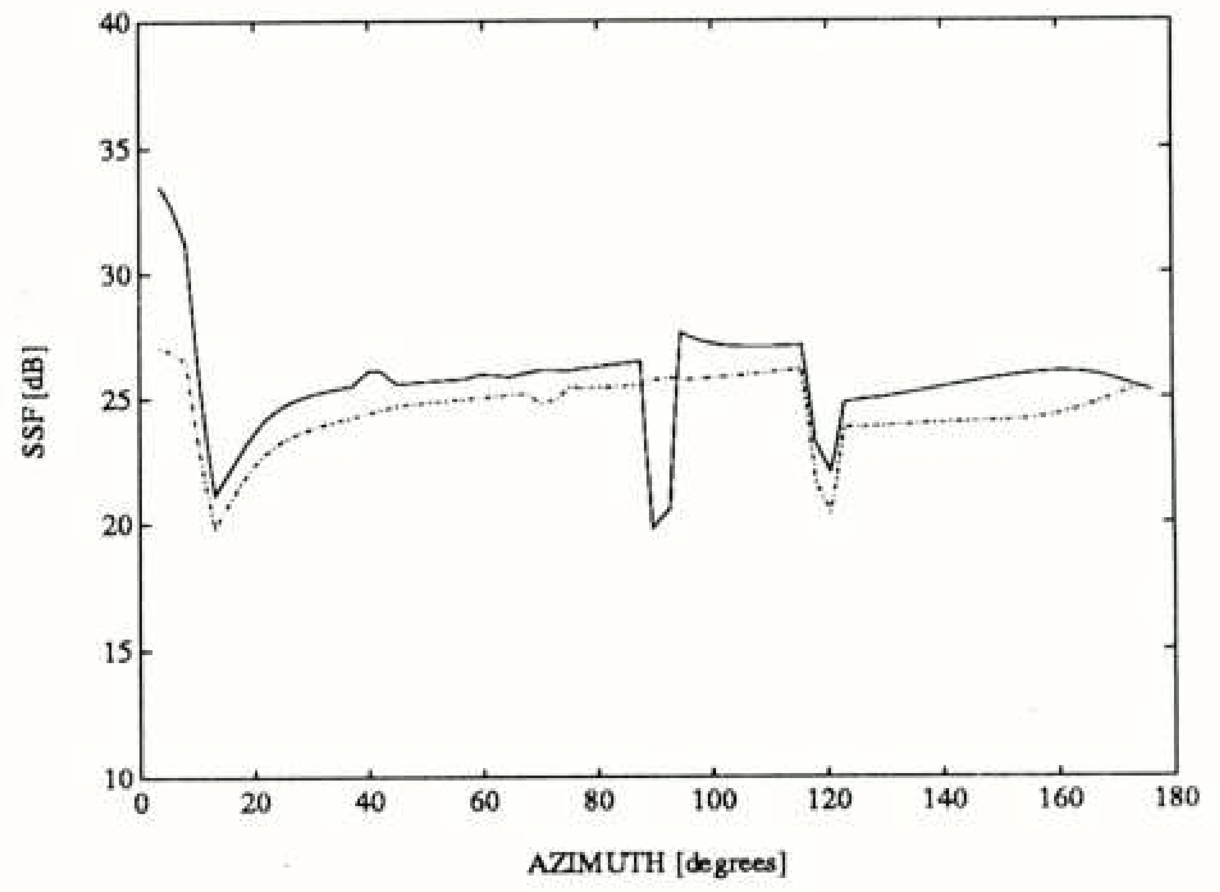


Figure 8: SSF of a Cassegrain antenna system for horizontal (solid) and vertical (line-dotted) polarization

f_h=12.2λ. The feed properties are chosen such that the mainreflector-edge illumination relative to boresight is -20 dB, and the relative rear-radiation level is -50 dB. These parameters have been transformed to the corresponding parameters of a single-reflector antenna using the principle of the equivalent parabola. An identical (main)reflector diameter, edge illumination, focal-distance-to-reflector-diameter ratio and relative rear-radiation level have been used. Despite the fact that the received levels for the single- and double-reflector antennas show substantial differences, the deduced SSF curves shown in figure 9 for horizontal polarization are very similar, except in the regions where the direct illumination of the respective feeds is dominant. In the figure, these so-called spillover regions are given by 20°≤φ_a≤30° and 100°≤φ_a≤125°. Outside these regions, the SSF results for single- and double-reflector antennas are nearly identical. This leads us to the conclusion that, except for the spillover regions, the antenna type is not of primary importance for the calculation of the SSF if the antennas have identical diameters and edge illuminations. This conclusion was also suspected in [3], but was not proven explicitly.

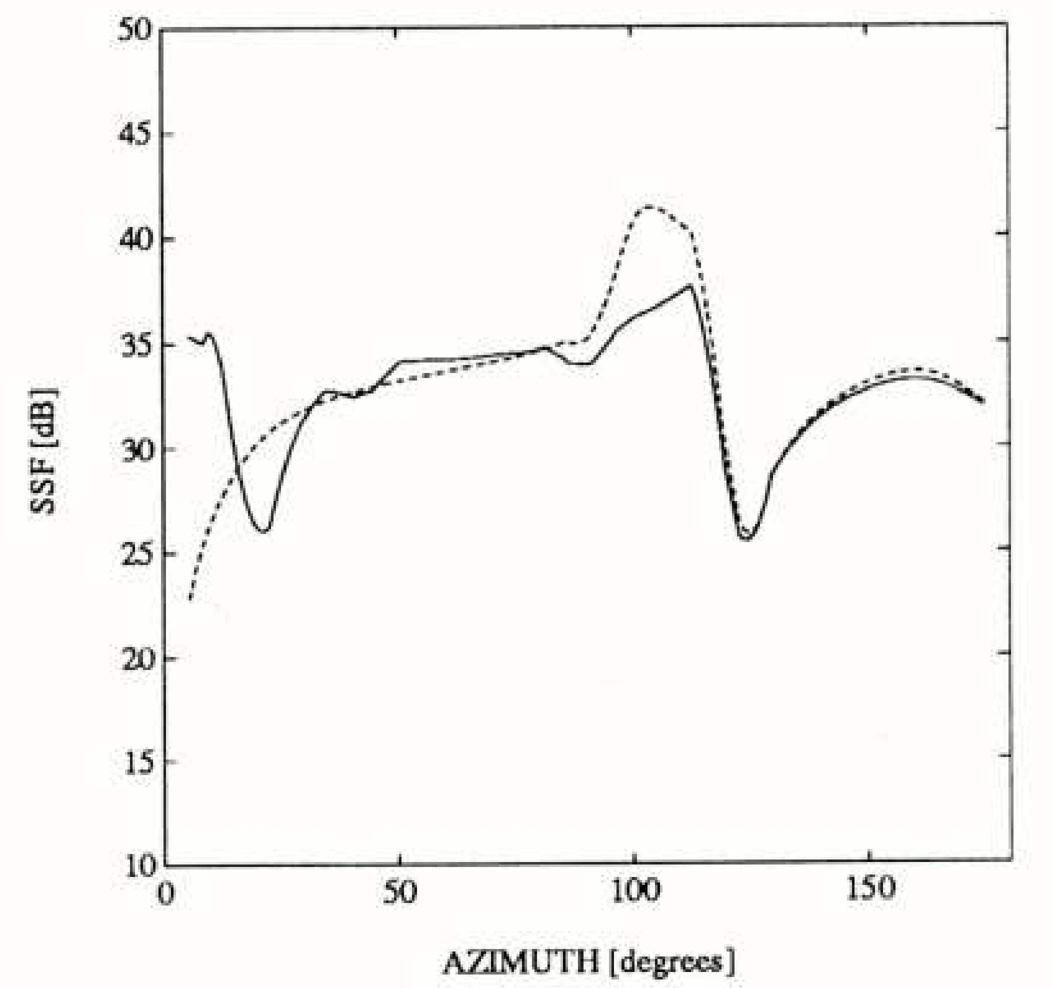


Figure 9: Comparison of the SSF of a double-reflector system (solid) and a single-reflector system (dashed)

5. NEAR- AND FAR-FIELD ANTENNA SHIELDING

In the foregoing it was mentioned that, if the obstacle is in the near field of the Cassegrain antenna, the diffraction mechanisms at the obstacle and reflector edges cannot be treated independently. In the following we present results based on three different methods for an antenna orientation φ_a=0° and φ_a=20°, with the interfering field propagating in the x-direction.

The first method was discussed in the foregoing and is referred to as the 'near-field approach': the receiving pattern of the antenna is calculated in combination with the obstacle diffraction.

The second method is referred to as the 'far-field approach'. It assumes that the antenna can be treated as a point source at the antenna centre C with a receiving pattern equal to the far-field receiving pattern of the Cassegrain antenna system. In the unshielded case, the received field has a level that is determined by the sidelobe attenuation at an angle of 20°(=φ_e) from boresight. In the shielded case, the interfering wave is diffracted by the obstacle edge, and consequently the AOA at the antenna system has changed. This means that the SSF is found according to:

$$SSF = L_{ke} + G(\varphi_e) - G(\varphi_e - \Delta\varphi), \tag{3}$$

in dB, where L_{ke}>0 is the knife-edge-obstacle diffraction loss caused by the obstacle, and $G(\varphi_e)$ and $G(\varphi_e-\Delta\varphi)$ are the sidelobe-attenuation factors for the AOAs in absence and presence of the obstacle, respectively. The parameter $\Delta\varphi$ is found from:

$$\Delta\varphi = arctan\left(\frac{\Delta h}{d}\right). \tag{4}$$

The near- and far-field regions for a reflector antenna with diameter D are separated at the Rayleigh distance $R=2D^2/\lambda$. Theoretically, the far-field approximation of equation (3) can be used if the separation d exceeds R.

The third method, which is referred to as the 'CCIR approach' [16], is also based on equation (3) and assumes the CCIR standard reference sidelobe envelope as given in [17] for the function . The application of this method is subject to some stringent conditions that have been discussed in [3] and will not be repeated here. The main restriction is a limitation of the diffraction angle at the obstacle edge (thereby limiting the validity of the model as a function of d). As a comparison, we have calculated the SSF based on these three methods. In figure 10 the three deduced SSF results are shown. Here, Δh=150λ and the polarization is horizontal.

It is seen from this figure that even for distances relatively small compared to R the near- and far-field method give quite similar results. Furthermore, the limitations of the CCIR approach are quite obvious, mainly due to the assumptions employed in the knife-edge diffraction term L_{ke} of equation (3). The large spikes in this figure are located at distances where in theory nulls appear in the receiving pattern of the Cassegrain antenna.

The smallest possible separation of antenna and obstacle used in the calculations is determined by the fact that the 'aperture cylinder' may not be blocked by the obstacle. For this reason we have also analyzed a configuration where the incident (interfering) wave enters the antenna system from the backward angular region (φ_a=180°), with φ_e=20°. In this way the wanted signal is never blocked, even when the antenna terminal is placed very close to the obstacle. In figure 11 the site-shielding factors based on the near-field approach and the far-field approach are given for horizontal polarization in case d ranges from a minimum value of 25λ to a maximum value of 1000λ, corresponding to normalized distances of 0.001R and 0.05R, respectively. For this particular antenna orientation, the CCIR-recommended procedure cannot be used. From figure 11 it can be seen that there may exist a substantial difference between the results from the near- and far-field approach. Moreover, the difference is not constant as function of the distance. The ripple on both curves is caused by two dominant interfering-ray contributions as the antenna moves towards the obstacle. From the figure it can also be seen that placing the antenna very close to the obstacle is no guarantee for obtaining a very large SSF. The dip in the near-field curve at 0.005R is due to the fact that for distances over 0.005R the ray from the obstacle edge to the subreflector is blocked by the mainreflector, while for distances smaller than 0.005R it is not. The fact that the dip in the far-field result is found at a larger distance is due to the assumption made of parallel-arriving individual rays. From the differences in the results obtained from the near- and the far-field method we find that the latter method cannot be applied gratuitously. Further, it appears that the CCIR method is quite unsatisfactory.

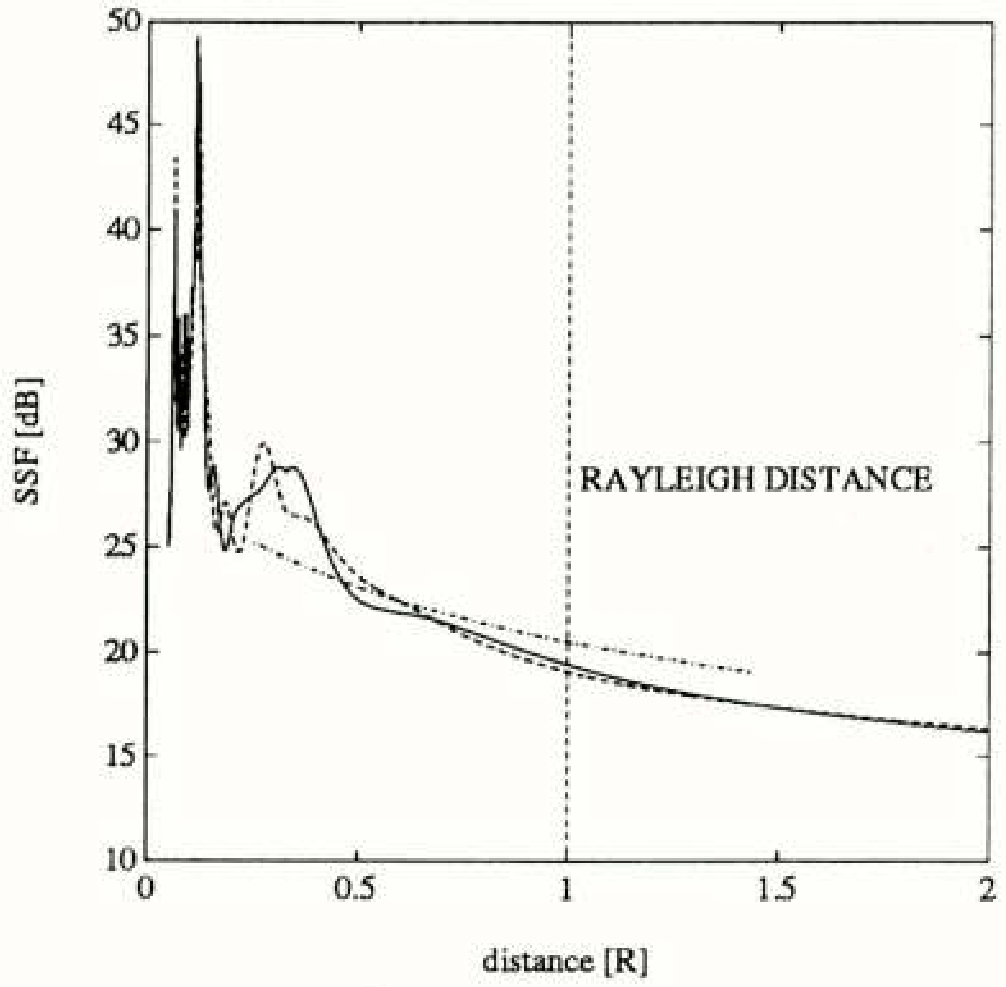


Figure 10: SSF calculated with near-field method (solid), far-field method (dashed), and CCIR method (line-dotted)

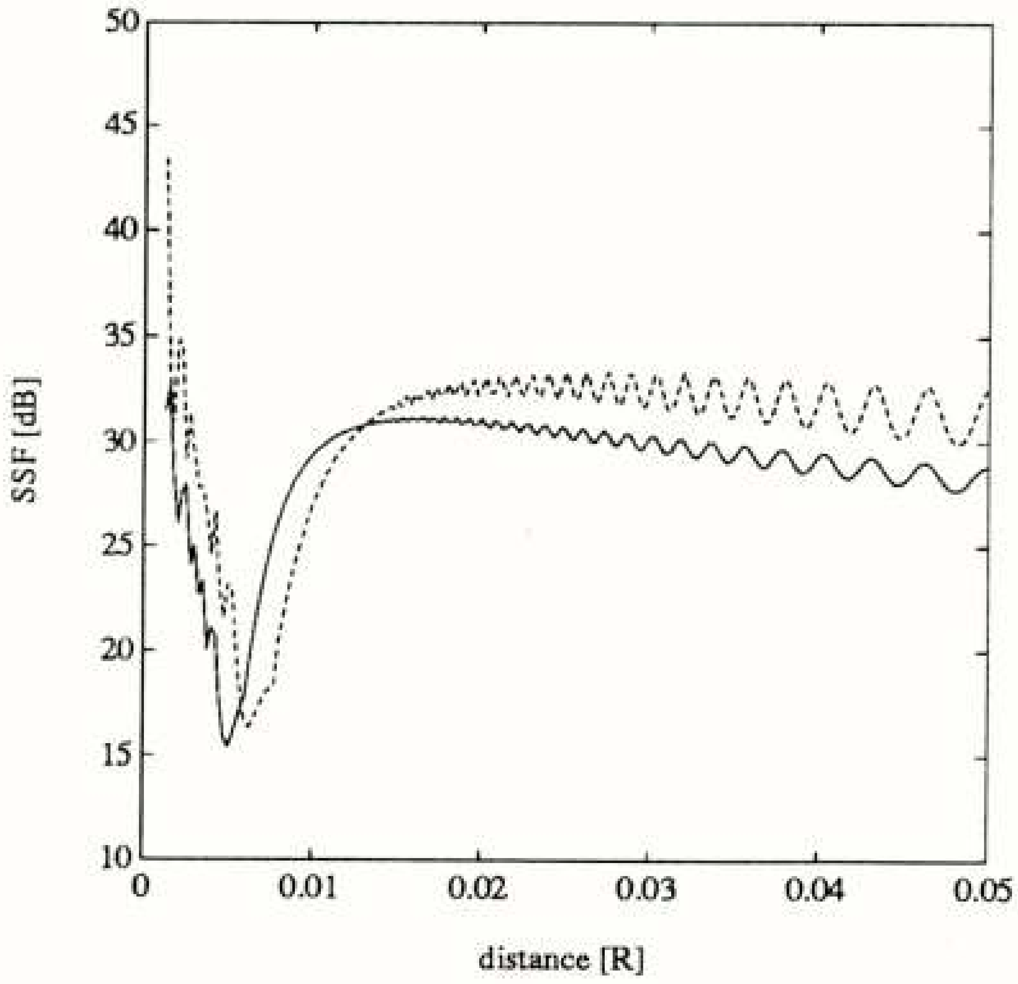


Figure 11: SSF in the very near field according to the near-field approach (solid) and the far-field approach (dashed)

6. CONCLUSIONS

We have created the ability to calculate the off-axis radiation patterns of a Cassegrain antenna system in the presence as well as in the absence of a half-plane obstacle. From these patterns the SSF can be deduced. These are well above 20 dB for the geometries employed, even if the half-plane obstacle is at a fairly large distance from the antenna. For single- or double-reflector antennas with identical diameter and edge illumination we find that the antenna type is not of primary importance in the determination of the SSF, except in the spillover regions. Furthermore, we have shown that the near-field approach provides accurate results, and, depending on the orientation of the antenna with respect to the obstacle, substantial differences may be found as compared to results given by the far-field method. It was also found that the current CCIR method is very restricted in its use and gives less accurate results than the simple far-field approach. For this reason we recommend the use of the far-field approach in case the antenna and obstacle have a separation larger than 0.25 times the Rayleigh distance. The near-field method, as desribed in this paper, should be used in all other cases, especially in situations where the antenna is very close to the obstacle.

The model as presented in this paper is extremely suitable for the evaluation of the shielding of large earth stations suffering from interference. It can also be used as a first tool for the determination of the optimal placement of Very Small Aperture Terminals (VSATs) in urban environments, thereby modeling any appearing obstacle by a half plane. For this purpose, however, we should use a more accurate model for appropriate prediction of the environmental shielding properties. Currently, research on an extension of the model is carried out at Eindhoven University of Technology. With the extended model we will be able to take into account multiple obstacles simultaneously, which may all have different shapes, such as half planes, rectangular blocks, cylinders, pyramids, etc. This new model can for instance be of great importance in determining the optimal position of a personal VSAT in an urban area for satellite reception of TV broadcastings. Further - and it might turn out that this is its primary value - the extended model will give the opportunity to determine the characteristic properties of an urban configuration for mobile satellite communications. It is foreseen that communication parameters like the time-delay profile and also the so-called signal coverage can be derived from the future results.

REFERENCES

[1] SCHEEREN, P.M.J.: 'Interference reduction techniques', Tijdschrift van het NERG, volume 52, no. 4/5/6, pp. 113-120, 1987.

[2] BALLABIO, E. (Ed.): 'COST 210, Influence of the atmosphere on interference between radio communications systems at frequencies above 1 GHz', volume EUR 13407 EN of Information Technologies and Sciences , Commission of the European Communities, Luxembourg, 1991.

[3] SCHEEREN, P.M.J.: 'Reduction of transhorizon radio interference in satellite earth stations', PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, 1988.

[4] VAN DOOREN, G.A.J., and GOVAERTS, H.J.F.G.: 'Shielding of single- and double-reflector earth-station antennas: a near- and far-field approach', accepted for publication, IEE Proceedings, part H, 1992.

[5] VAN DOOREN, G.A.J.: 'Electromagnetic diffraction models for the shielding of single- and dual-reflectors by obstacles with simple shapes', IVO report ISBN 90-5282-162-3, Eindhoven University of Technology, 1991.

[6] KOUYOUMJIAN, R.G., and PATHAK, P.H.: 'A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface', Proceedings of the IEEE, volume 62, no. 11, pp. 1448-1462, 1974.

[7] HANNAN, P.W.: 'Microwave antennas derived from the Cassegrain telescope', IRE Transactions on Antennas and Propagation, volume AP-9, pp. 140-153, 1961.

[8] MENTZER, C.A., and PETERS JR, L.: 'A GTD analysis of the far-out sidelobes of Cassegrain antennas', IEEE Transactions on Antennas and Propagation, volume AP-23, no. 9, pp. 702-709, 1975.

[9] LO, Y.T., and LEE, S.W. (Ed.): 'Antenna handbook', Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1988.

[10] GOVAERTS, H.J.F.G.: 'Half plane shielding of a Cassegrain antenna system', internal report, Telecommunications Division, Eindhoven University of Technology, 1991.

[11] RUSCH, W.V.T., WELCH, L.R., and MIRES, G.E.: 'Observation-point-dependent blocking shadows on a reflector antenna', IEEE Transactions on Antennas and Propagation, volume AP-37, no. 6, pp. 690-697, 1989.

[12] VAN DOOREN, G.A.J., and GOVAERTS, H.J.F.G.: 'Off-axis radiation-pattern calculation of a Cassegrain antenna system with an application to site shielding', ICAP'93, IEE Conference Publication 370, pp. 631-634, Edinburgh, 1993.

[13] KAY, I., and KELLER, J.B.: 'Asymptotic evaluation of a field at a caustic', Journal of Applied Physics, volume 25, pp. 876-883, 1954.

[14] RYAN, C.E., and PETERS JR, L.: 'Evaluation of edge-diffracted fields including equivalent currents for the caustic regions', IEEE Transactions on Antennas and Propagation, volume AP-17, no. 5, pp. 292-299, 1969.

[15] JAMES, G.L., and KERMEMELIDIS, V.: 'Reflector antenna radiation pattern analysis by equivalent edge currents', IEEE Transactions on Antennas and Propagation, volume AP-21, no. 1, pp. 19-24, 1973.

[16] CCIR PLENARY ASSEMBLY: 'Earth-station antennas for the fixed-satellite service', Recommendations/Reports of the CCIR, volumes IX-1/IV-1, report 390-6, Geneva, 1990.

[17] CCIR PLENARY ASSEMBLY: 'Radiation diagrams for use as design objectives for antennas of earth stations operating with geostationary satellites', Recommendations/Reports of the CCIR, volume IV-1/VII, report 580-2, Geneva, 1990.

De eerste auteur, Rico Govaerts, heeft met steun van het NERG voor de 8e IEE International Conference on Antennas and Propagation te Edinburgh over dit onderwerp een lezing gehouden onder de titel: 'Off-axis radiation-pattern calculation of a Cassegrain antenna system with an application to site shielding' [12].

Congres "PRIVACY EN SOCIALE ASPECTEN VAN TELECOMMUNICATIE"

Openingsrede uitgesproken door drs. ing. T. Driesen
Directie PTT Telecom



Het is uitermate belangrijk om - samen met externe deskundigen - vandaag zorgvuldig te praten over een onderwerp als privacy.

De PTT zou dit beraad in principe ook alleen met interne deskundigen kunnen voeren.

Maar juist over een onderwerp als dit is het essentieel om te weten hoe er over gedacht wordt in de samenleving in het algemeen.

Daarom een speciaal woord van welkom aan de twee externe sprekers op dit congres: professor Andriessen van de TU Delft en dr Paul Slaa van de Universiteit van Amsterdam.

Privacy, een belangrijk onderwerp, maar niet nieuw.

Al in de zestiger jaren speelde het bij de komst van de eerste computers waarop persoonsgegevens werden opgeslagen.

En het onderwerp nam in belangrijkheid toe.

Met name in de afgelopen twee decennia toen allerlei bestanden massaal in computers werden opgeslagen, bestanden met veelal zeer gevoelige informatie voor de betrokkenen zoals medische gegevens of kredietwaardigheid om maar eens twee uitersten te noemen.

Het wonderlijke is dat een allesomvattende definitie van het begrip Privacy niet bestaat.

Wat voor de een strikt privé is kan voor de ander beschouwd worden als iets dat best in de openbaarheid mag.

Zo schermen de meeste mensen hun privéleven af, maar hoe hoger op de maatschappelijke ladder, of hoe meer in de belangstelling, hoe vaker op dit punt concessies worden gedaan.

Het spreekwoord "Hoge bomen vangen veel wind" doet hierbij opgeld.

Over het begrip Privacy wordt uiteraard ook bij de PTT uitgebreid nagedacht.

De missie van de Koninklijke PTT Nederland is immers het leveren van een compleet pakket hoogwaardige diensten, die zijn geconcentreerd rond het transport van informatie, goederen en diensten.

Het privacy aspect draait met name rond het begrip informatie.

Met de informatie die door de PTTV wordt getransporteerd moet in alle gevallen vertrouwelijk worden omgegaan.

Deze zorgvuldigheid is een belangrijk kwaliteitsaspect in het totaal van de dienstverlening. En dit belang wordt steeds groter in verband met de ontwikkeling van de technische mogelijkheden waarmee U als ingenieurs werkzaam bij PTT Telecom dagelijks mee bezig bent.

Ik noem een aantal ontwikkelingen:

- de toenemende behoefte aan individualisering: tele-identificatie.
- de beschikbaarheid van call detail records: verkeerspatronen.
- de interne uitwisseling en koppeling van gegevens: marktsegmentatie.
- en de introduktie van nieuwe features zoals calling line identification.

Deze ontwikkelingen maken het voor PTT Telecom absoluut noodzakelijk beleid te formuleren op dit gebied. We kunnen niet zeggen: we wachten maar eens af hoe de markt reageert.

Er moet beleid geformuleerd worden voor wat betreft de omgang van persoonsgegevens, zoals bestandbeheer, beveiliging en inzagerechten van geregistreerden. Maar ook moet beleid geformuleerd worden op het terrein van de vormgeving van diensten in relatie tot privacy zoals de gespecificeerde telefoonnota en calling line identification.

PTT Telecom zal een invulling moeten geven aan het begrip privacy als onderdeel van het begrip "klantvertrouwelijkheid". En daarbij gaat het niet alleen om de bescherming van de gegevens van natuurlijke personen - privacy in enge zin, maar ook om de bescherming van de gegevens die ons voor business doeleinden ter beschikking staan; onze klantengegevens.

Mede vanwege haar historie - als staatsbedrijf - en ook vanwege haar omvang, heeft de PTT en dus ook PTT Telecom, een bijzondere positie in de Nederlandse samenleving.

Daarom wordt PTT Telecom regelmatig aangesproken op haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Daarbij moeten nuances aangebracht worden bij de bijzondere positie die PTT Telecom tot op dit moment nog steeds heeft in de Nederlandse samenleving. Die positie is aan verandering onderhevig.

Neem alleen al het gegeven dat PTT Telecom in toenemende mate niet meer de enige aanbieder op de markt zal zijn.

Dat maakt onze verantwoordelijkheid niet minder, maar wel anders.

Wij zijn niet meer de enige hoeder van de samenleving als het gaat om het bewaken van allerlei maatschappelijke aspecten die zijn verbonden aan het gebruik en de toepassing van telecommunicatie middelen.

En als we spreken over de toepassing van telecommunicatie middelen dan komt hierbij ook het aspect van maatschappelijke acceptatie aan de orde.

Wat er technisch aan telecommunicatie faciliteiten op de markt komt is niet per definitie positief of negatief te beoordelen als het gaat om bijvoorbeeld privacy.

Dat hangt weer af van de manier waarop de faciliteiten gebruikt worden en het hangt ook af van de maatschappelijke acceptatie ervan.

Dit houdt in dat bijvoorbeeld wetgeving op het gebied van de privacy geen zaak is, en ook geen zaak kan zijn van de PTT.

Je moet als aanbieder van bepaalde telecommunicatie faciliteiten niet alles willen regelen, want je weet immers niet van tevoren hoe de samenleving erop reageert.

Een fraai voorbeeld hiervan is de automatische nummerherkenning, de Calling Line Identification.

Aan de ene kant roemt de pers de PTT omdat nu de hijgers en schelders door de mand vallen.
Aan de andere kant is er forse kritiek omdat anoniem bellen moeilijker wordt.

Telefonische hulpdiensten horen tot de felle tegenstanders; de politie en journalisten staan voor een dilemma.
Wie garandeert de mogelijkheid om anoniem te kunnen bellen?
Moet degene die gebeld wordt dat doen of is het een zaak van de PTT en hoe moet dat dan geregeld worden?

Nog meer privacy aspecten doemen op. Er zijn telefoontoestellen die de mogelijkheid hebben alle nummers te onthouden van waaraf gebeld is. Het is dan heel makkelijk na te gaan door wie iemand op een bepaalde dag allemaal is gebeld. En dat zal niet iedereen prettig vinden.

Automatische nummerherkenning kan tot een fundamentele machtsverschuiving leiden tussen beller en degene die gebeld wordt.
Misschien wordt in de toekomst de telefoon er wel heel anders door aangenomen.
Nu maakt degene die gebeld wordt zich meestal als eerste bekend. Maar als het nummer van de beller meteen in het venstertje verschijnt is die situatie omgekeerd.

De automatische nummerherkenning is nog maar een ontwikkeling, in datzelfde vlak horen ook zaken als de gespecificeerde nota, de postcode in de electronisch opvraagbare telefoongids en dergelijke.

Deze hele ontwikkeling is ook positief vanuit de positie van de klant te benaderen: PTT Telecom geeft klanten middelen in handen waarmee de klant zelf extra controle krijgt over zijn gebruik van telecommunicatie.

De verantwoordelijkheid ligt dus ook duidelijk bij de klanten zelf.

Maar dat ontslaat de PTT niet van de verplichting zich te laten zien als een maatschappelijk betrokken onderneming die volledig in dienst staat van de klant.

De discussie vandaag over allerlei privacy aspecten moet in dit licht gezien worden en uitgangspunt moet zijn dat bescherming van de privacy een normaal en vanzelfsprekend gegeven is van een dienstverlenende onderneming zoals PTT Telecom.

Voordracht gehouden tijdens de 412e werkvergadering.

A B C VAN TELEMATICA TOEPASSINGEN

Prof. dr. J.H. Erik Andriessen
Technische Universiteit Delft

ABC of telematic applications. Telecommunication and information technology, also called telematics, provide users with many fascinating possibilities to overcome communications barriers of time and space. This is sometimes referred to as 'technology of freedom'. However, particularly in workorganisations, applications of telematics can also be used to control and intrude into people's life. This 'technology of control' phenomenon can be limited when the following conditions are met: an 'Adhocratic' structure and culture in the userorganisations, a 'userBehaviour-orientation' of the producers and endusers having Communication Competences.

1. INLEIDING

'De informatisering explodeert . . . Tegelijkertijd wordt de telematica geboren uit het samengaan van computers en het telecommunicatienet . . . Een menigte aan kleine apparaten verschijnt, doeltreffend en goedkoop: het zouden symbolen van vrijheid kunnen zijn. Na de elitaire techniek volgt nu een op het publiek gerichte activiteit.

Dat zeiden Nora en Minc, de opstellers van een rapport voor de Franse overheid over de mogelijkheden van wat zij als eersten de Telematica noemden. Over 'symbolen van de vrijheid' spraken zij, over 'een op het publiek gerichte activiteit'. En dat werd het ook, althans ten dele. De fascinerende mogelijkheden van de telematica werden de burger steeds duidelijker. Teleshoppen, reisinformatiesystemen, en in de toekomst de elektronische krant. En voorts contacten met mensen in totalitaire landen. Kortom: **Technologie van de vrijheid**.

Maar er is ook nog een ander toepassingsgebied van de telematica nl. binnen en tussen arbeids-organisaties. In deze rede wil ik vooral aandacht schenken aan de toepassingen van telematica in de werksituatie.

De meeste mensen brengen hun werktijd nog door op één plek, met vaste werktijden, en ze spreken met een beperkt aantal mensen die bij hen in de buurt zitten. Ze zijn voorts slechts van enkele groepen lid: van hun afdeling, van een of enkele commissie, van een informele groep en dat is het dan wel. Sommige mensen hebben echter enige ervaring met een veel meer kosmopolitische werksituatie, omdat ze in organisaties werken met uitgebreide interne en externe netwerken. Zulke mensen kunnen met collega's aan de andere kant van de wereld bijna even makkelijk praten als met hun collega op een lagere verdieping. Ze kunnen berichten of rapporten krijgen en afgeven terwijl ze onderweg zijn of thuis zitten te werken. En misschien voeren ze wel overleg met collega's via een videoverbinding.

De laatste tien, twintig jaar komen er steeds meer communicatiemogelijkheden bij. Nieuwe toepassingen van de telefoon, maar ook het draadloze kantoor, elektronische post netwerken en video-vergaderen. Ook die toepassingen worden gepropageerd onder de vlag van de technologie van de vrijheid. Ze geven ons immers grotere bewegingsvrijheid in het werk, snelle bereikbaarheid, en bredere toegankelijkheid van informatie.

Mooi toch? Of zit er een addertje onder het gras? Grotere bereikbaarheid betekent nl. ook grotere druk om altijd maar bereikbaar te zijn. Teleregistratiemogelijkheden betekenen ook dat het werkgedrag van mensen in detail geregistreerd en dus ook gecontroleerd kan worden. En gaat de nieuwe technologie niet gepaard met sterke tijdspressie en 'informatie overload'? Betekent dat soms dat die technologie van de vrijheid eigenlijk een luchtkasteel is? Is er wellicht ook sprake is van een **technologie van de controle**? In deze rede zal ik betogen dat de communicatietechnologie inderdaad die bedreiging in zich bergt. Tevens zal ik echter aangeven dat aan die bedreiging ontkomen kan worden indien aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan. Kortom, de technologie van de vrijheid kan ook de technologie van de controle worden, tenzij wij ons daartegen wapenen.

2. WAAR HEBBEN WE HET OVER?

Het begrip Telematica is niet zo scherp gedefinieerd en het dekt dan ook een groot scala van verschijnselen. Als ik het over de sociale en organisatorische betekenis van Telematicatoepassingen heb, dan bedoel ik in feite drie typen toepassingen:

a. **Tele-informatie- en registratie**: Systemen ter ondersteuning van het op afstand raadplegen en bewerken van informatie in gegevensbestanden. Een dergelijk systeem ondersteunt de onderhoudsmonteur die bij een klant zit en even een aantal produkt-specificaties wil inzien die in de computer op zijn kantoor zijn opgeslagen. In deze categorie hoort ook de registratie van telefoongesprekken of elektronische brieven bij.
b. **Tele-transactie**: Systemen ter ondersteuning van de uitwisseling van gestandaardiseerde logistieke of administratieve gegevens tussen computers van verschillende organisatie(s)(onderdelen): bijv. interbancair betalingsverkeer, en Electronic Data Interchange (EDI) voor handelstransacties.
   Vooral deze laatste categorie is de laatste jaren enorm in omvang toegenomen. De sociale en organisatorische implicaties daarvan zijn echter nog zeer onduidelijk.
c. **Tele-conversatie**: Systemen ter ondersteuning van communicatie tussen mensen. Vroeger was dat eigenlijk alleen de telefoon, telegraaf en telex voor gelijktijdige communicatie, en de brief voor ongelijktijdige communicatie. Tegenwoordig zijn daar een grote reeks nieuwe media aan toegevoegd, zoals bijv. voor gelijktijdige communicatie de autotelefoon, en de verschillende vormen van semafonie. Voor ongelijktijdige communicatie is er nu o.a. de fax, de elektronische post en de voice mail.

Deze drie toepassingen van telematica worden weer in verschillende combinaties in dienst gesteld van nieuwe organisatorische structuren en processen, zoals telewerk, mobiele arbeid, teamwerk op afstand, maar ook 'executive decision systems' en just-in-time logistiek.

3. ALTIJD ANDERS DAN VERWACHT

In sommige gevallen is het gebruik van nieuwe toepassingen veel groter dan men verwacht had. Een bekend voorbeeld is de fax. In vele gevallen is het gebruik echter veel kleiner dan gepland. Ik noem een aantal voorbeelden:

1. **Elektronische post** is in enkele bedrijven een belangrijk medium, maar in vele andere blijft het gebruik ver onder de verwachtingen.
2. **Beeldtelefonie** werd al in de zeventiger jaren geïntroduceerd. Ondanks de uitstekende beeldkwaliteit bleek dat deze telefoon-met-videobeeld in de praktijk nauwelijks of niet gebruikt werd. En ook bij de huidige generatie is het de vraag voor welke doelgroepen en taken een beeldtelefoon de moeite waard is. Buiten de arbeidssituatie is dat voor één doelgroep aannemelijk gemaakt nl. slechthorenden. Misschien dat het door zes PTT's (waaronder de Nederlandse PTT) gedragen EVE project - European Videotelephony - goede doelgroepen binnen bedrijven kan identificeren.
3. **Videotex**: Alle Nederlandse pogingen om hiervan een landelijk succes te maken zijn tot nu toe weinig succesvol geweest
4. **Telewerkkantoren**: Als alternatief voor het telethuiswerken (waarover straks meer) tracht men telewerkkantoren op te zetten. Dat zijn kantoren waarin allerlei informatie- en tele-communicatie apparatuur is opgesteld en waar medewerkers van verschillende bedrijven kunnen komen werken. Het grote voordeel van een dergelijk kantoor moet zijn dat het veel dichter bij de woonplaats van vooral forenzende werkers ligt. Echter, het succes van telewerkkantoren is tot nu toe minimaal. Een jaar geleden is een dergelijke faciliteit in Purmerend ter beschikking gekomen. Daarbij werd vooral gedacht aan het huisvesten van medewerkers van bedrijven zuidelijk van het Noordzeekanaal, bijv. van Schiphol. Na een jaar naarstig adverteren en contact leggen met honderden ondernemingen, bleken slechts enkele bedrijven geïnteresseerd te zijn.

Zo zijn er nog heel wat meer technische toepassingen te noemen, van ISDN tot bijvoorbeeld allerlei zogenaamde 'groupware' systemen, waarvan het zeer de vraag is of ze echt aan een behoefte voldoen. Deze systemen worden ofwel door wetenschappers, technici en leveranciers gepropageerd ofwel politiek wenselijk geacht, zonder veel rekening te houden met de behoeften van de gebruiker en de dynamiek van de maatschappelijke situatie waarin ze terecht zullen komen.

Een mijns inziens belangrijke factor wordt hierbij gevormd door de achterliggende 'economy of scale' visie, d.w.z. de neiging om dergelijke diensten meteen grootschalig voor alle burgers in eens te willen invoeren. Iedereen heeft een telefoon, dus iedereen moet ook videotex of iedereen moet ook beeldtelefonie hebben. Een specifieke doelgroepen benadering begint pas langzamerhand enige aandacht te krijgen.

Nu zou je kunnen zeggen dat het ontwikkelen van technieken en diensten die niet aanslaan bij potentiële gebruikers vanzelf wel afgestraft wordt door het marktmechanisme. Dat idee is echter maar ten dele geruststellend. Het gaat immers soms om de ontwikkeling van systemen die door een machtige partij doorgedrukt worden terwijl de potentiële gebruikers daarbij geen rol van betekenis spelen. Op het terrein van de publiekssystemen is het Franse Minitel een goed of liever een slecht voorbeeld. Dat systeem is het Franse publiek eenvoudigweg opgelegd en heeft hen miljarden aan belastinggelden gekost. De gemiddelde Fransman maakt er echter weinig gebruik van en eigenlijk vooral de Eroticadiensten zijn zoals gebruikelijk zeer succesvol.

Met betrekking tot organisatiecommunicatie vindt vaak iets dergelijks plaats. Bovendien, en dat is mijn tweede punt, de secundaire effecten zijn soms nogal onverwacht. Die neveneffecten kunnen interessant en in beginsel nuttig zijn, ze kunnen echter ook bedreigend zijn.

4. NEVENEFFECTEN

Interessant en misschien nuttig is een verschijnsel dat ik aanduid met het begrip **grensvervaging**. Daarmee bedoel ik dat door het gebruik van netwerken allerlei traditionele onderscheidingen verdwijnen:

- statusverschillen en dus grenzen tussen functies hebben minder betekenis;

  Bepaalde media blijken een opvallend effect te hebben op statusverschillen in een groep. Bij gewone vergaderingen zijn er allerlei tekenen van status en van overwicht (luid praten, snel en alert reageren). In elektronisch communicerende teams zijn deze afwezig, waardoor er ruimte komt voor de minder dominerende groepsleden om bij te dragen. Dit is voordelig voor sommige taken, zoals gezamenlijk creatief oplossingen zoeken voor problemen, maar bemoeilijkt de besluitvorming.
- grenzen tussen afdelingen verdwijnen als men net zo gemakkelijk kan overleggen met collega's in andere afdelingen of andere ondernemingen als met eigen collega's;
- snelle communicatie tussen geografisch uiteen liggende 'tijdszones' is met elektronische post geen probleem meer;
- en tenslotte verdwijnt het scherpe verschil tussen kantoor en thuis, tussen werktijd en vrije tijd bij telewerkers en bij gebruikers van de nieuwe telefonische media.

Wat dit betekenen zal is nog heel onduidelijk. Zullen mensen zich minder betrokken en verbonden voelen bij hun collega's en organisatie? Zal men individualistischer worden en worden de relaties veel oppervlakkiger? Of krijgen mensen een wijder perspectief? Worden ze hierdoor minder beperkt en bekrompen? Worden organisaties hierdoor minder bureaucratisch? Wie zal het zeggen. Wel is duidelijk dat organisaties meer flexibel en creatief kunnen worden met behulp van de communicatie-technologie. Maar dat eist wel wat van het management:

- hun statusmacht is minder;
- hun medewerkers behoren tegelijkertijd ook tot andere groepen;
- en ze krijgen met medewerkers te maken die ze niet zo vaak zien.

Veel managers en professionals houden er echter niet van om hun greep op de situatie te verliezen. Wanneer dat dreigt te gebeuren door de nieuwe techniek, dan worden de ontwikkelingen sterk afgeremd. Daarvan zijn allerlei voorbeelden te noemen, zoals het sterk bij de voorspellingen achterblijvende verschijnsel van het Telewerken.

5. GEDRAGSBEHEERSING

Tot nu toe sprak ik over min of meer interessante en misschien wel nuttige bijeffecten van telematicasystemen. Er is echter ook een meer negatieve, een meer bedreigende kant.

De ontwikkeling van de telematicatoepassingen in werksituaties staat met name in het kader van toenemende coördinatie behoeften tussen geografisch gespreide en gedecentraliseerde ondernemingen. De coördinatie-behoeften van het management worden niet alleen gericht op bedrijfsprocessen, maar vertaald zich ook in een vaak onbedwingbare neiging om het gedrag van de personeelsleden zoveel mogelijk te beheersen en te controleren. Die neiging kan door de moderne telematica toepassingen aanzienlijk versterkt worden.

Die gedragsbeheersing komt op verschillende manieren tot uiting.

1. **Camera's op afstand**: Een dergelijk middel is prima voor de nachtwaker in een groot gebouw, en ook wel adequaat om winkelende klanten in de gaten te houden. Een aantal jaren geleden kwam echter een geval aan het licht van een bedrijf in Limburg waar camera's werden gebruikt om te controleren of personeelsleden op hun werkplek wel hard genoeg werkten. Dat was voor de vakbond en ook voor de rechter over de schreef.

2. **Telefonisch afluisteren** vindt niet alleen in totalitaire landen plaats. Worden niet telefonistes regelmatig via deze weg gecontroleerd? Momenteel is in de Verenigde Staten een discussie gaande of een chef het recht heeft om de elektronische post van zijn medewerkers te bekijken. Velen vinden van wel. Allerlei gegevens over de elektronische communicatie van medewerkers worden overigens al routinematig in grote logfiles opgeslagen. En ook allerlei andere vormen van zgn. 'personeel volg systemen' zijn denkbaar en worden in de praktijk toegepast.
3. **Oproepbaarheid.** Eigenlijk zijn ook de onschuldig lijkende pieper, fax, telefoon en autotelefoon in feite instrumenten voor gedragscontrole. De pieper en de fax moeten natuurlijk direct beantwoord worden; een rinkelende telefoon moet meteen opgenomen worden ook al ben je in gesprek met een ander. De semafoon werd tot voor kort slechts gebruikt door artsen. Nu zie je ze overal om je heen. De moderne vrachtwagenchauffeur kan, via satellietverbinding en boordcomputer, over zijn hele route opgeroepen en gecontroleerd worden. En wat te denken van de 'active batch', d.w.z. een kleine chip die je in je binnenzak meedraagt en die er voor zorgt dat iedereen in het bedrijf op zijn scherm precies kan zien wáár in het gebouw de drager zich bevindt. Het systeem zorgt er tevens voor dat de telefoon overal automatisch doorgeschakeld wordt.

   Al deze middelen kunnen een toenemende druk op de gebruiker leggen, maar ook op zijn/haar omgeving. Ze betekenen dat men snel moet reageren, en ze vormen dus een storing voor lopende activiteiten. Grotere bereikbaarheid (op het werk en thuis) kan ook een toenemende 'greep' op de mens betekenen. Men is nooit los van het werk en leeft onder grotere stress omdat nog veel meer zaken dan tot nu toe op het laatste moment afgehandeld kunnen, en dus zullen, worden.
4. **Virtueel feodalisme.** Het meest vergaand op dit terrein zijn de toekomstverwachtingen van Mowshowitz - hoogleraar computer science in New York en momenteel tevens verbonden aan de Universiteit van Amsterdam. Hij introduceerde de begrippen 'virtuele organisatie' en 'virtueel feodalisme'.

   De virtuele organisatie is een multinational die over de hele aarde vestigingen heeft, maar nergens sterke geografische beperkingen of bindingen. Dank zij de informatie- en telecommunicatietechnologie kan deze onderneming overal haar spel spelen. Als bijvoorbeeld de belastingdruk in het ene land ongunstig wordt, verandert de onderneming zijn interne verrekenprijzen en laat de winst in een ander land vallen. Als de lonen te hoog zijn wordt de produktie verplaatst, etc. Het schuiven met schulden, licentierechten, toeleveranciers en betalingen is een ingewikkeld spel dat pas met computers en internationale communicatienetwerken op grote schaal kan worden gespeeld.

Mowshowitz voorspelt dat er steeds meer macht komt bij dergelijke internationale ondernemingen.

Via hun op telecommunicatie berustende informatie-netwerken kunnen zij naar eigen believen beleid voeren en steeds onafhankelijker worden van nationale overheden. De politiek zal haar greep op de economie verliezen, de nationale staat zijn inkomsten sterk zien verminderen en niet meer in staat zijn gemeenschapsvoorzieningen te bekostigen. Deze zullen dan al of niet overgenomen worden door de multinationals, die daardoor nog meer greep op hun personeel krijgen.

Uiteindelijk voorziet Mowshowitz het ontstaan van een nieuwe orde, nl. het 'virtuele feodalisme', waarin de economische én politieke macht in één hand is nl. in die van de virtuele organisaties. Hij beoordeelt deze ontwikkeling overigens positief.

Ik denk dat in dergelijke organisaties de mens geheel in de greep van de netwerken zal zijn. Overal bereikbaar en controleerbaar, want men is in feite eigendom van het bedrijf. Het heeft wat weg van de situatie in de grote Japanse ondernemingen. Men is dan **netgevangene in plaats van netwerker.** Het ergste zal zijn dat men dit nog leuk vindt ook, of minstens onvermijdelijk. Hoeveel werkverslaafden vinden het immers nu al leuk om een autotelefoon, thuisfax en een pieper te hebben.

Het doet mij denken aan die twee ratten in een experimenteel doolhof. Zegt die ene rat tegen die ander: heb ik die onderzoeker mooi geconditioneerd! Elke keer als ik het doolhof goed doorloop drukt die man op een knop om mij voedsel te geven.

6. TECHNOLOGIE VAN DE VRIJHEID OF TECHNOLOGIE VAN DE CONTROLE

Dus **technologie van de controle** in plaats van **technologie van de vrijheid**? We weten het natuurlijk niet want het gaat om toekomstige ontwikkelingen. Maar de signalen zijn er dat het beide kanten op kán gaan. De basistechnologie is neutraal, de concrete toepassingen kunnen zowel positief als negatief zijn.

De moraal van mijn verhaal is: We moeten er op uit zijn om de voorwaarden voor 'vrijheid' te versterken en die voor 'controle' te beperken. Zowel **producent**, als **gebruikende organisatie** als de **gebruikers** zelf blijken in de vele illustraties die ik gaf een rol te spelen. Producenten brengen diensten en apparaten op de markt met een gebruikersonvriendelijke interface of die niet passen bij de specifieke werksituatie. Gebruikersorganisaties gebruiken telematicatoepassingen vaak niet ter ondersteuning maar ter controle van hun medewerkers. En de gebruikers zelf onderwerpen zich aan het bedrijfsregime of aan de ideologie van de 'snelle en algemene bereikbaarheid'.

Er zijn mijns inziens dan ook drie belangrijke voorwaarden voor een goede toepassing van de nieuwe technologie te noemen. Voorwaarden die ik tezamen het ABC van de telematica-toepassingen zou willen noemen: Adhocratie, Behoeften-oriëntatie en Communicatie Competentie.

A. De eerste voorwaarde is een **Adhocratische organisatiecultuur.** Wat is dat? In **bureaucratische** organisaties is de behoefte aan gedragscontrole een haast autonome kracht. Een bekende goeroe voor organisatiedeskundigen en managers, Harry Mintzberg, heeft echter een ander organisatiemodel beschreven, de **Adhocratie.** Een dergelijke organisatie wordt gekenmerkt door een flexibele, gedecentraliseerde structuur, waar de medewerkers niet beoordeeld worden op hun aanwezigheid en precieze gedragingen maar op hun prestaties en output. In dergelijke organisaties hebben mensen er zelf behoefte aan om veel met anderen te communiceren, en is dan ook zichtbaarheid, volgbaarheid en bereikbaarheid niet bedreigend.

Een dergelijke cultuur is kenmerkend voor bijvoorbeeld sommige hitech bedrijven, organisatieadviesbureaus, en research afdelingen. In deze organisaties is het zelfs voorstelbaar dat men het niet erg vindt om overal camera's op zich gericht te weten. Hét voorbeeld is het Xerox Palo Alto Research Laboratorium in Amerika. Wetende dat de betere Research en Ontwikkelings-laboratoria zich onderscheiden door de vele **ongeplande en informele** communicatiemogelijkheden van de onderzoekers, installeerde men niet alleen videocamera's en beeldschermen in de werkkamers maar vooral ook in de koffiekamers en bij de zitjes in de gangen. Collega's van verschillende vestigingen konden zo toch **informeel** ideeën uitwisselen tijdens het koffie drinken.

Ik wil hiermee niet suggereren dat er binnenkort grote bestellingen

camera's en TV-schermen te verwachten zijn vanuit universiteiten en onderzoeksinstituten. Met dit voorbeeld wil ik slechts illustreren dat het gebruik van observatie apparatuur onder adhocratische omstandigheden niet als bedreigend maar als behulpzaam wordt ervaren.

B. De tweede voorwaarde is **Behoeften oriëntatie.**

Aandacht voor de consument als gebruiker van allerlei apparaten is groeiende. De CD-I heeft een heel eenvoudige bediening en zo hoort het ook. De telefooneigenaar heeft de mogelijkheid om zijn telefoonnummer buiten de gespecificeerde rekening te houden. Prima. En er zijn ook semafoons die niet piepen maar een trilling afgeven en dus voor de omgeving minder storend zijn. Maar hoe zit het met de gebruiker in de bedrijfssituatie? Zijn de elektronische-post faciliteiten echt afgestemd op de gebruiker? Zou de professional niet meer hebben aan een document camera dan aan een beeldtelefoon?

Het gaat hierbij overigens niet om acceptatie in het algemeen, maar om een zodanige human interface van de apparatuur dat de aanwezige mogelijkheden goed worden benut. Kortom er is nog veel behoefte aan goed onderzoek naar de behoefte van de gebruiker.

C. De derde voorwaarde is **Communicatie Competentie.**

Het omgaan met nieuwe technieken en diensten moet geleerd worden. Dat moest vroeger met de telefoon ook, maar de situatie is nu heel wat ingewikkelder. Het gevaar van 'telecom-analfabetisme' van zwakke groepen in de maatschappij is duidelijk aanwezig. Voor werknemers in organisaties ligt de zaak echter wat anders. Medewerkers moeten léren gebruik te maken van de mogelijkheden van de moderne communicatietechnologie. Zij moeten leren de ontwikkeling en invoering daarvan te beïnvloeden. En vooral ook moeten ze leren zich te beschermen tegen de nadelen daarvan.

Welke competenties moeten zij zich dan eigen maken? Dat zijn er drie. Natuurlijk moet men allereerst weten hoe de apparaten en de software werken. Ik noem dat **bedieningscompetentie.** Hoe logisch het lijkt om instructie op dit gebied te geven, het gebeurt vaak niet.

Het moderne chef-secretaresse telefoontoestel op mijn bureau, met al zijn om- en doorschakelsystemen, heeft nog diverse geheimen voor mij. De handleiding is niet duidelijk, niemand komt instructie geven en ik maak geen tijd om uitgebreid te gaan experimenteren.

Belangrijker dan bedieningscompetentie vind ik echter twee andere vaardigheden. Ik noem ze netwerk-competentie en interactie-competentie.

Netwerkcompetentie is de vaardigheid om netwerken van nuttige contacten binnen en tussen organisaties te ontwikkelen. Een dergelijke competentie is momenteel vooral voorbehouden aan hogere managers en professionals, met name in de sfeer van de directe of telefonische contacten. De aard van moderne organisaties en van het werk zal een dergelijke competentie ook van lager niveau medewerkers eisen, terwijl deze netwerken hoe langer hoe complexer worden.

De derde vaardigheid die mensen zich eigen moeten gaan maken is **interactiecompetentie.** Interactiecompetentie is de vaardigheid om efficiënt te kunnen communiceren met behulp van de nieuwe systemen. Je moet weten hoe je nuttig gebruik kunt maken van telefonisch vergaderen, ook als je met een groep van vijf of acht mensen tegelijk belt. Je kunt met elektronische post ook vergaderen, maar de voor- en nadelen daarvan moet je wel leren.

Interactiecompetentie betekent overigens vooral ook leren elkaar niet onnodig lastig te vallen. Het is bijvoorbeeld zo gemakkelijk om een kopie van een elektronische-post bericht aan een hele reeks anderen toe te zenden.

In diverse organisaties die ik ken zijn medewerkers geneigd om allerlei elektronische berichten 'door te kopiëren' naar hun chef, vanuit de gedachte dat die dan ook op de hoogte blijft van lopende zaken. Maar de chef heeft slechts twee reactiemogelijkheden: berichten ongezien verwijderen, of verdrinken in de informatie.

En evenzo moet men leren **minimaal** gebruik te maken van de semafoon, de fax en andere middelen die mensen dwingen om direct te reageren. Ik voorzie dat het in de toekomst belangrijker wordt om informatie te vernietigen en contacten te mijden, dan om informatie te verspreiden en interactiekanalen aan te leggen.

AFRONDING

Organisaties moeten dus adhocratisch van aard worden, producenten dienen zich meer op de behoeften van de gebruikers te oriënteren, en de gebruiker moet leren om op een verstandige manier met de nieuwe technologie om te gaan. Als aan die voorwaarden wordt voldaan zal de communicatie-technologie ook pas echt de technologie van de vrijheid kunnen zijn.

Voordracht gehouden tijdens de 412e werkvergadering.

VEDERPRIJS 1992

Considerans uitgesproken door ir. W.P. Wapenaar op 8 september 1993



Ir. W.P. Wapenaar, bestuurslid Vederfonds

De Vederprijs 1992 is toegekend aan dr.ir. G.J.M. Krijnen "Wegens zijn uitmuntende analyse en beschrijving van de mogelijkheden tot het ontwikkelen van Niet-lineaire optische componenten voor telecommunicatie doeleinden".

In 1966 werden door Kao en Hockham de mogelijkheden en principiële eigenschappen van glasvezel communicatie beschreven. Op dit moment, ruim 25 jaar later, is glasvezel het transmissiemiddel bij uitstek.

In het lange afstandsnet worden vrijwel uitsluitend nog optische communicatie middelen geïnstalleerd, terwijl in het abonneenet de eerste aanzetten worden gegeven voor glasvezel communicatie tot in c.q. tot aan de woning.

Licht dat getransporteerd wordt via glasvezel ondervindt transportverliezen (demping) en vervorming (dispersie) met als gevolg dat van elkaar te onderscheiden pulsen gaan interfereren en niet meer te detecteren zijn. Bij lange afstand datacommunicatie moeten de optische signalen na een bepaalde afstand te hebben afgelegd z.g. geregenereerd (hersteld) worden. Het gebruik van het elektrisch domein voor signaalbewerking zoals schakelen, routeren versterken ligt voor hand. Signaalbewerking in het elektrische domein vraagt een bewerkelijke omzetting van het optische naar elektrische domein, alwaar de signaalbewerking, en vice versa. Het gebruik van het elektrische domein voor signaalbewerking brengt ook beperkingen met zich mee: schakelsnelheden zijn beperkt als gevolg van parasitaire capaciteiten. Zeer grote bandbreedten zijn alleen bereikbaar bij signaalbewerking in het optische domein.

Het promotieonderzoek van Krijnen gaat in op een van de kernvragen van de huidige communicatietechniek: hoe op een efficiënte manier de enorme bandbreedte, aangeboden door de optische fiber, te benutten. Het onderzoek is gericht op het exploreren van de bijzondere mogelijkheden, die hier de z.g. derde orde niet-lineaire optische effecten bieden (AC Kärr effect): nl. het schakelen en versterken van licht. Qua ontwerp ligt dit in het verlengde van wat in de radiotechniek tot nu toe heeft plaatsgevonden, zij het met kleinere (optische) golflengte en in meer complexe geleide golfstructuren.

Krijnen is erin geslaagd een terrein, dat tot nu toe in ons land onderbelicht is gebleven, nl. dat betreffende de mogelijkheden tot het ontwikkelen van niet-lineaire opto-optische devices voor telecommunicatiedoeleinden breed en helder in beeld te brengen.

Zeer elegant en praktisch belangrijk is de manier waarop hij niet lineariteit in reeds bestaande beschrijvings- en simulatietechnieken, de zgn. beam propogatiemethoden heeft gecorporeerd.

De creatieve wijze, waarop hij een en ander hanteert blijkt ook uit het feit dat hij op een zijspoor voor de simpele lineaire versie van de zgn. Y-juncties een nog niet bekende analytische uitdrukking voor de vermogensverdeling heeft gevonden.

De kern van het werk ligt echter in het behandelen van een aantal niet-lineaire devices in benaderde analytische uitdrukkingen zowel als in numerieke algoritmen en uitwerkingen daarvan.

Het belang van het werk van Krijnen ligt vooral in het feit dat aan een Nederlandse onderzoeksgroep en stevige basis is gegeven voor verder onderzoek op het betreffende gebied. Op materiaalkundig gebied en op het gebied van structuren voor devices kan nu gerichter worden gezocht naar oplossingen voor nog bestaande bottlenecks.



Overhandiging van de Vederprijs aan Dr.Ir. G.J.M. Krijnen door Mevr. F. Kosters, achterkleindochter van Anthony Veder.
(Foto Baayens, Enschede)

FIBRE IN THE LOOP
EN DE EUROPESE MARKT

door ing. F. Jaeger
AT&T Network Systems International

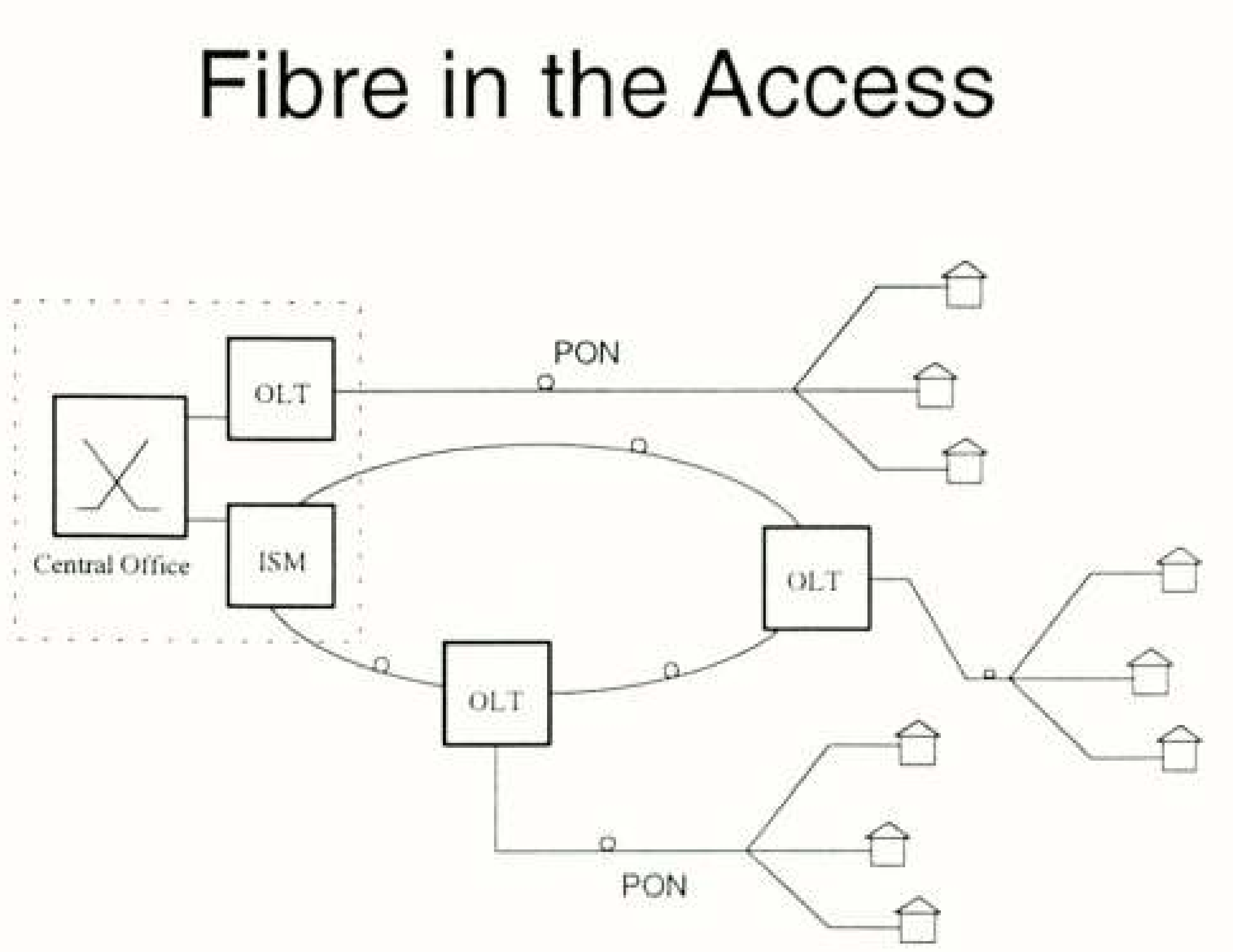
Summary

In this article some characteristic features of glass fibre connections in the network section from central office to end user are discussed.

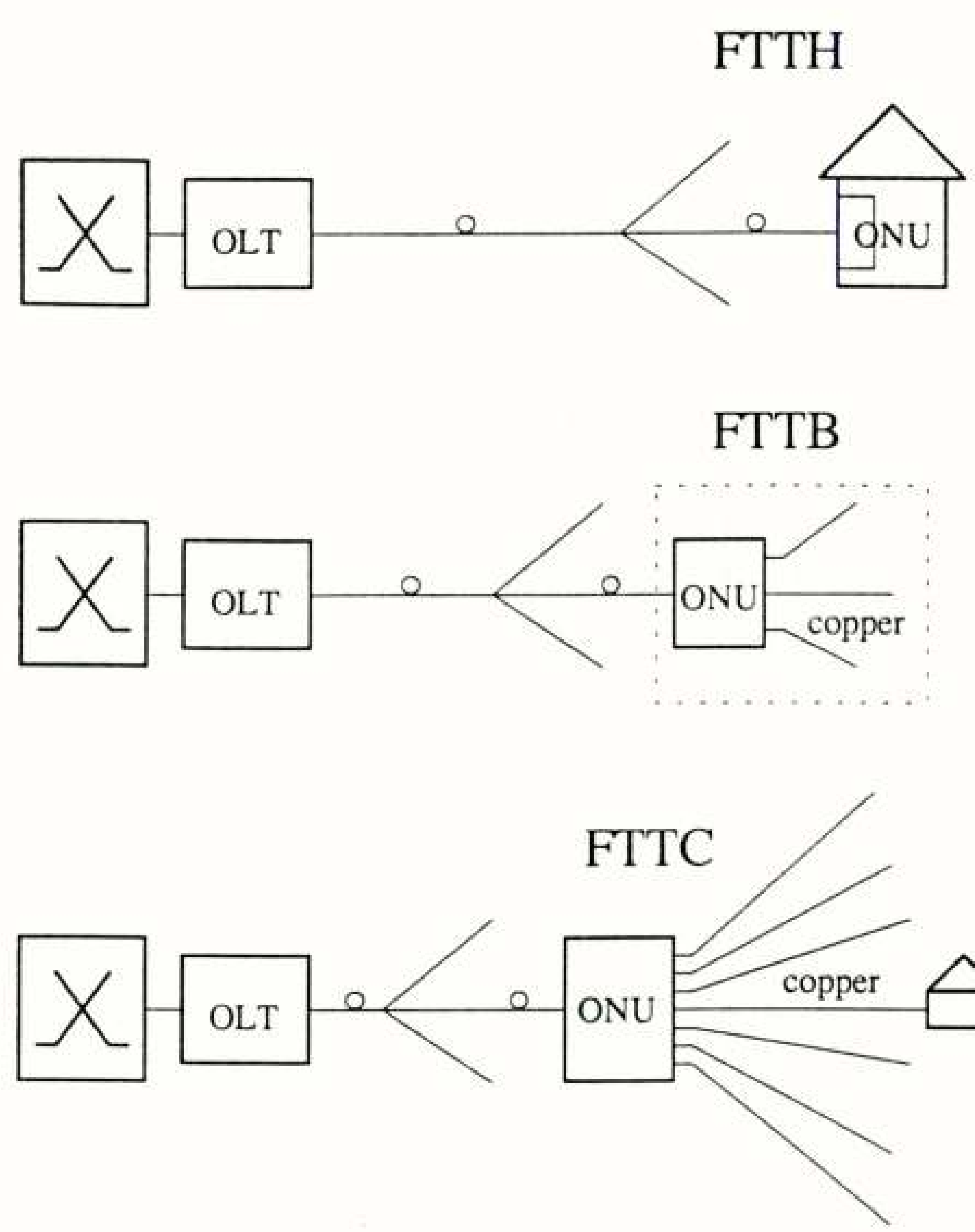
Different network configurations are given, including single- and multi-subscriber connections. A short overview of possible services is presented. Attention is paid to cost-factors specific for glass fibre connections. Also other constraints are playing a role in the decisions to be taken.

A generic model is given, integrating different customer premises within one system.

Finally an overview of current FITL trials in Europe is given.



Afbeelding 1



Afbeelding 2

Het begrip "Fibre In The Loop" (FITL) heeft in de loop der jaren een eigen betekenis gekregen. In principe gaat het hierbij om het gedeelte in het telecommunicatie-netwerk van de centrale (central office) tot abonnee (Customer Premises). Afbeelding 1 laat zien dat er verschillende topologieën mogelijk zijn. In grotere Service Areas zal de feeder een SDH ring kunnen zijn. Deze voordracht richt zich vooral op het laatste gedeelte van de "loop". In het huidige spraakgebruik denkt men bij FITL dan ook in eerste instantie aan de oplossing die gekozen is voor het lagere abonnee netvlak.

Het is van belang na te gaan welke argumenten er zijn voor de introductie van glasvezel in het abonnee netvlak.

Eerst zullen enige veel gebruikte afkortingen worden toegelicht.

In afbeelding 2 zijn de meest voorkomende configuraties aangegeven. Als voorbeeld is uitgegaan van een FITL systeem waarbij gebruik wordt gemaakt van een Passief Optisch Netwerk (PON) als een optische bus topologie.

Bij Fiber To The Home (FTTH) loopt de fiber via optische "splitters" tot aan het huis. In het huis is een Optical Network Unit (ONU) aangesloten. Deze unit is abonnee georiënteerd (single of dual). Aan de zijde van de centrale bevindt zich een Optical Line Terminal (OLT).

Ook bij een Fiber To The Building (FTTB)-configuratie bevindt de ONU zich aan de abonnee-zijde binnen een gebouw, bijvoorbeeld een flatgebouw. Het betreft dus in elk geval een beschermde omgeving, waar ook voedingsspanning beschikbaar is. Het gedeelte van het netwerk tussen centrale en gebouw is ook hier passief. Bij deze configuratie is de ONU bedoeld voor multi-abonnee aansluitingen.

Bij Fibre To The Curb (FTTC) bevindt de ONU zich ergens in een wijk; het laatste stuk van het netwerk naar de abonnee is in dit geval dus weer koper. Hier is dus geen sprake meer van een echte PON implementatie.

Stimulators

- Bandwidth requirements; data, video
- Greenfield scenarios
- Rehabilitation
- Economics
- Flexible service provisioning

Afbeelding 3

Services

- Current POTS services
- Leased Lines
- ISDN
- High-speed data
- Voice and Video conferencing
- Distributive TV and Digital Radio
- Interactive video (video on demand, Pay per View)

Afbeelding 4

De telecommunicatiemaatschappijen die de netwerken exploiteren streven in het algemeen naar een netwerk met een grote bandbreedte. Dat heeft enerzijds te maken met het toenemende belang van informatie in de samenleving maar anderzijds eisen ook kwaliteit en snelheid grotere bandbreedten.

Dit betekent echter niet dat nu zonder meer het koper netwerk zou hebben afgedaan. Ook voor het kopernet komen er namelijk technieken voor bandverbreding beschikbaar; daarbij denke men aan HDSL (High Speed Digital Subscriber Loop) en ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Loop) met overigens hun voor- en nadelen.

De introductie van de glasvezel zal een geleidelijk proces zijn. Veranderingen in de maatschappij gaan ook geleidelijk en er zijn beperkingen in de mate waarin met succes nieuwe diensten geïntroduceerd kunnen worden.

Naar verwachting zal de glasvezel op redelijke termijn wel een economisch verantwoorde oplossing bieden. Dit zal vooral gelden voor gebieden waar nog geen netwerk ligt of waar het koper netwerk aan vervanging toe is.

Tenslotte speelt er nog een belangrijke factor, namelijk de flexibele diensten voorziening. Uit overwegingen van concurrentie, maar ook als gevolg van door de (meestal zakelijke) klanten uitgeoefende druk, zal het nodig zijn sneller in te spelen op de veranderende wensen van de klant. Men zou bijvoorbeeld niet meer weken moeten wachten op een 2 Mbit/s verbinding. De vraag is nu, welke diensten geleverd kunnen worden bij beschikbaarheid van een grote bandbreedte.

De lijst van diensten, opgenomen in afbeelding 4, behoeft nauwelijks betoog. De interactieve diensten, zoals POTS (Plain Old Telephony Service), ISDN (Integrated Services Digital Network) en 2Mbit/s zijn de meest belangrijke van de bestaande diensten. Ze verdienen de hoogste prioriteit voor de normale continuering van de bedrijven die daarvan gebruik maken.

Videophone en video-conferencing kunnen belangrijke diensten worden; omdat het ook mogelijk wordt deze diensten via het koper netwerk te bieden, kan men voor deze diensten sneller tot landelijke introductie overgaan.

Het aanbieden van video diensten met een meer distributief karakter (CATV = kabeltelevisie) via een FITL netwerk lijkt iets verder weg te liggen. De introductie van deze diensten (DS), al of niet geïntegreerd met Interactieve diensten (IS), hangt heel sterk af van nationale wetgeving en van de gekozen scenario's voor introductie. Deze zaken kunnen een belemmerende factor vormen.

Er zal nu worden nagegaan welke overige belemmeringen er kunnen zijn bij de introductie van FITL in Europa.

Constraints

- Regulation
- Organisation
- Cost
- Interface to Switch
- Integration IS and DS

Afbeelding 5

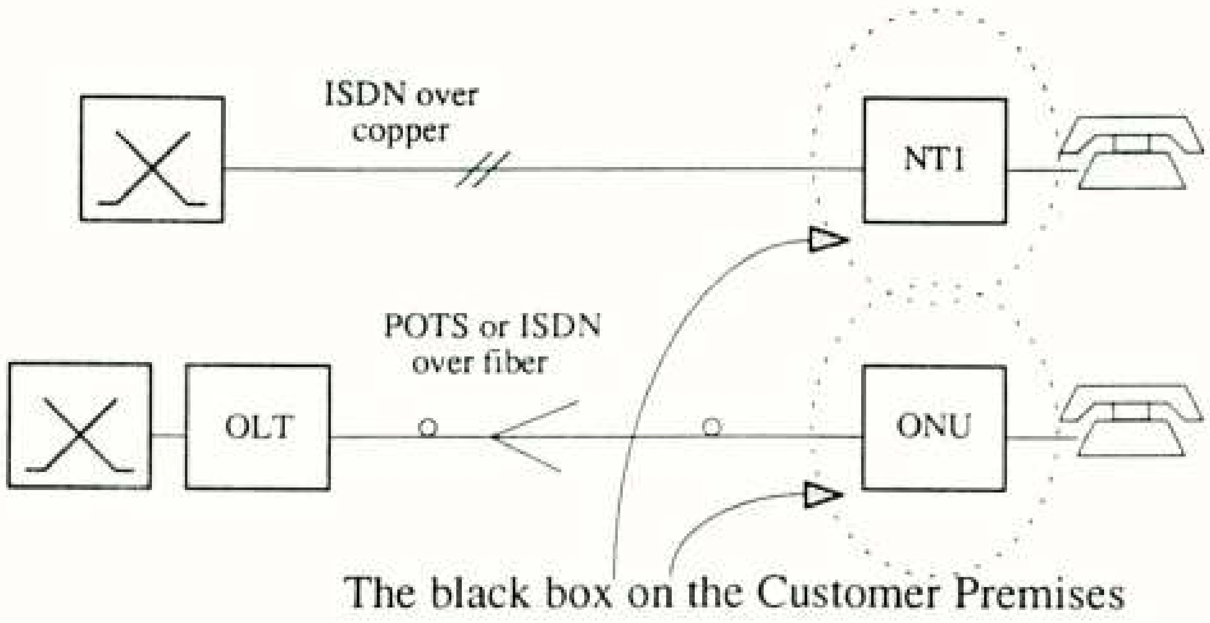
Met de aanduiding **regulation** in afbeelding 5 wordt gedoeld op het geheel aan regelgevingen binnen Europa ten aanzien van diensten die de PTT-administraties en kabelexploitanten wel en niet mogen aanbieden. Dit proces wordt nog versterkt door de privatiseringsgolf in Europa. Er bestaan van land tot land verschillen. Twee voorbeelden: in Engeland mag BT (British Telecom) geen CATV aanbieden; kabelexploitanten mogen daar echter wel POTS diensten aanbieden. In Nederland mag PTT wel de infrastructuur voor CATV aan de kabelexploitanten aanbieden, maar deze exploitanten mogen geen POTS aanbieden.

De problematiek ten aanzien van de regelgeving is zo groot, dat er een tendens is om de verschillende diensten als aparte netwerken te installeren, zodat toegesneden oplossingen ontstaan. Dit geeft niet alleen keuzeproblemen met betrekking tot ontwikkeling bij de fabrikant, maar het kan ook operationeel/organisatorische consequenties hebben bij de exploitant (PTT).

Om organisatorische problemen te beperken en planningsprocedures geleidelijk te wijzigen ligt het voor de hand dat bij de introductie van fiber wordt gekeken naar het koper netwerk. Kenmerkend daarbij is dat er zich geen actieve componenten in het veld bevinden. De populariteit van de PON architectuur laat zich gedeeltelijk verklaren door deze gedachte.

Een belangrijk aspect vormen de kosten en dat geldt vooral voor FITL in extreme vorm: Fiber To The Home (FTTH).

Alvorens verder te gaan met noemen van beperkende factoren wordt eerst een zijsprong gemaakt om te illustreren hoe soms zaken die op het eerste gezicht simpel lijken, kunnen doorwerken in organisaties en culturen.



Afbeelding 6

Het nieuwe element in het abonnee netvlak is, dat er bij steeds meer categorieën van gebruikers transmissie doosjes komen. Vroeger was dat eigenlijk alleen bij de groot zakelijke gebruiker het geval, terwijl er in de toekomst bij de gewone klant kastjes komen met ingewikkelde elektronica als afsluiting van het net. Dit staat in feite los van de introductie van glasvezel. Een vergelijking dringt zich op met ISDN waarvoor het nodig is een NT1 kastje te hebben bij de gebruiker. Hoe simpel dit ook lijkt, toch is dit al reden geweest voor vele internationale discussies. Het resultaat is dat in Europa dit kastje bij het netwerk behoort; in de USA heeft men besloten dat het tot de Customer Premises apparatuur behoort, dus in de categorie van telefoontoestellen.

Bij FTTH komt er ook een kastje bij de klant; nu echter niet als afsluiting van de koperdraad maar van de glasvezel. Uit operationeel/organisatorisch oogpunt (onderhoud, planning) lijkt een algemene benadering voor dit soort voorzieningen logisch. In bepaalde landen is echter het plaatsen van de ONU bij de eindgebruiker niet haalbaar omdat dat niet in de cultuur past (inbreuk op privacy, hetgeen onderhoud e.d. onmogelijk maakt). Men heeft daar besloten dat alleen FTTB- en FTTC configuraties toegepast kunnen worden.

Een PTT die slechts een passief abonnee netwerk kent zal bemerken dat bijvoorbeeld FTTC oplossingen met elektronica kasten op straat ook organisatorische consequenties zal hebben. Hoewel daarvoor oplossingen zijn, kan dit toch remmend werken bij de invoering.

Van de factoren die de mogelijkheden van invoering van FITL in de verschillende configuraties beperken, is de kostenfactor van doorslaggevende betekenis. Het zal duidelijk zijn dat van de besproken configuraties de Curb of Building oplossingen relatief goedkoop zijn, omdat dure optische componenten, voedingen, etc. gedeeld worden over een aantal abonnees. Daar staat tegenover dat bij FTTH oplossingen de aantallen ONU's groter zijn en het ontwerp daarom meer geoptimaliseerd kan worden. De meeste PTT's en fabrikanten in Europa zijn bezig met studies op dit terrein en dit onderwerp zal voorlopig nog veel aandacht krijgen, temeer omdat de algemene verwachting is dat optische componenten een zelfde ontwikkeling zullen doormaken als de chips technologie.



Afbeelding 7

De belemmering bestaat daarin, dat er een neiging ontstaat af te wachten totdat duidelijker is geworden dat de investeringen voor FTTH in de buurt komen van de investeringen van huidige koperlijnen. Men kan overigens constateren dat in Europa de voorkeur uitgaat naar FTTB/H oplossingen.

De vele proefnemingen die in verschillende landen zijn gedaan en die voor een deel nog niet zijn beëindigd, leiden tot de conclusie dat FTTC goedkoper lijkt, maar dat de implementatie ervan nogal gecompliceerd is.

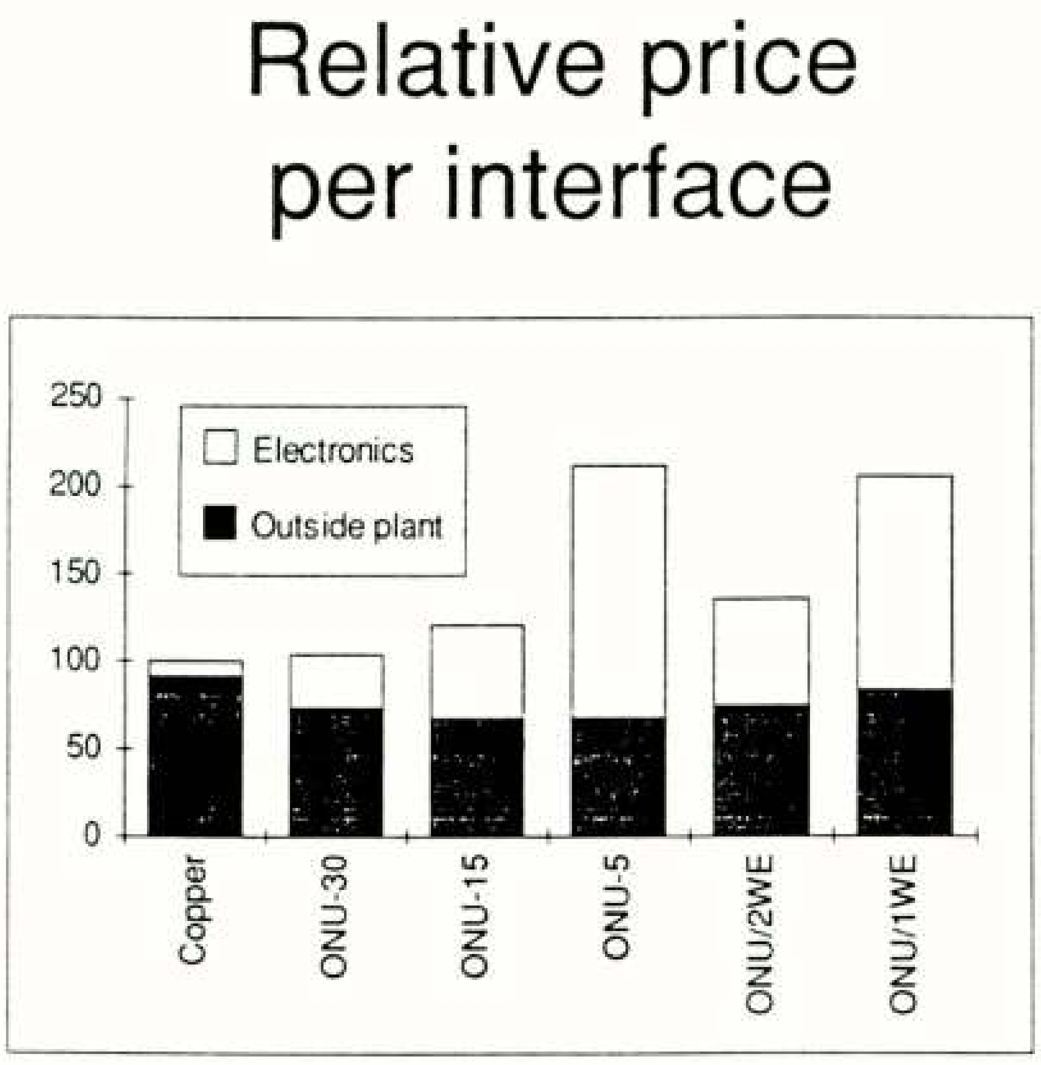
Als het een grote curb betreft kan men nauwelijks meer spreken van FITL. Bovendien zijn er dan ook andere oplossingen voorhanden (Subscriber Loop Carrier systemen). Men kan dan spreken van Fiber-in-the Feeder.

Het zou een goede strategie kunnen zijn om langs geleidelijke weg glasvezel in het abonneevlak te introduceren. Het lijkt vooral de goede benadering voor landen waar weinig "greenfield" situaties zijn of waar geen mogelijkheid is voor een grootschalige aanpak.

Afbeelding 8 geeft een relatieve kostenvergelijking, gebaseerd op de huidige inzichten.

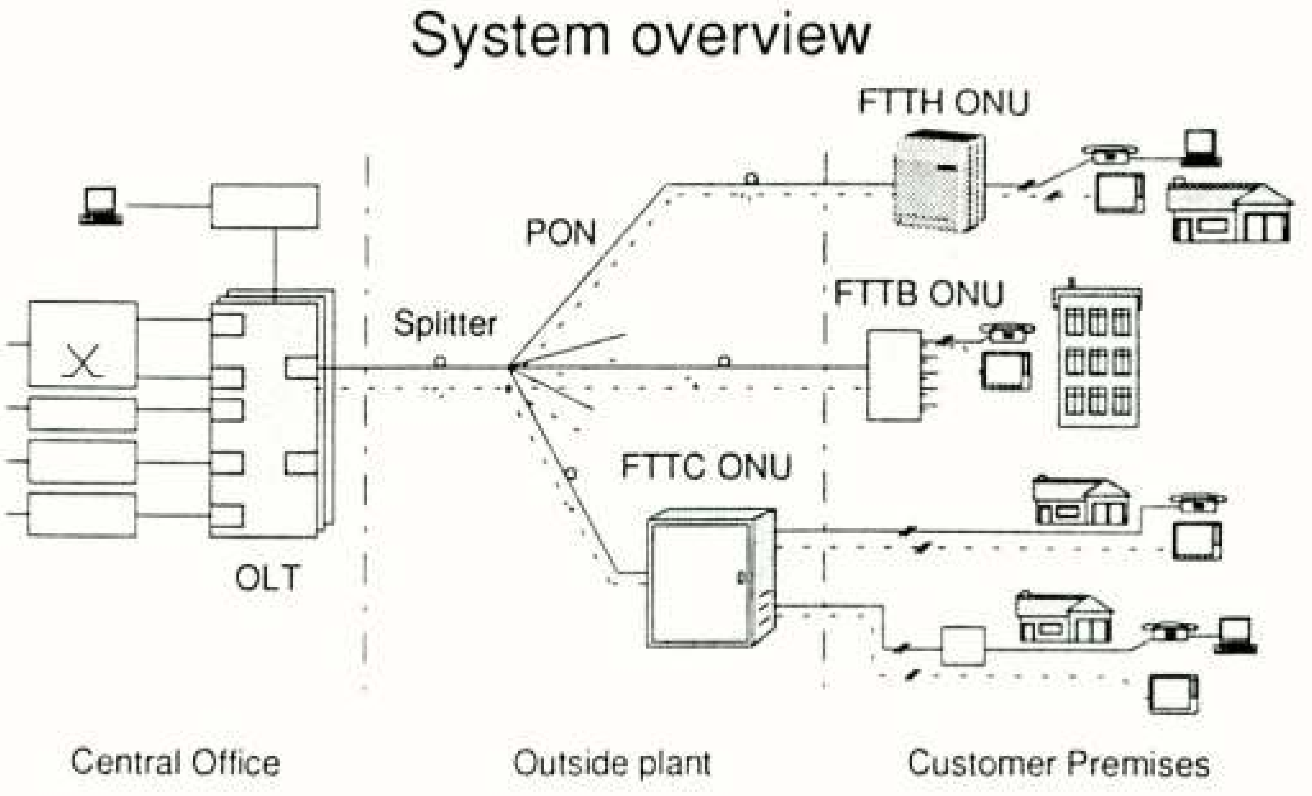
Links is ter vergelijking de prijs per lijn op koper basis aangegeven. In de kostenvergelijking zijn alle kabel- en graafkosten opgenomen.

Er is uitgegaan van een POTS aansluiting en een gemiddelde abonneedichtheid. Men kan opmerken dat bij een kleinere ONU capaciteit een hogere prijs per lijn geldt. Dat is te verklaren, omdat de algemene constructie en de gemeenschappelijke elektronica bij een kleinere ONU capaciteit door minder abonnees wordt gedeeld. Bij een zeer kleine ONU voor 2 wooneenheden daalt de prijs weer. Dit effect wordt veroorzaakt door een aanzienlijk goedkopere constructie en het feit dat het hier om een massa produkt gaat.



Afbeelding 8

Afbeelding 9 toont een gecombineerd IS/DS systeem, zoals dat momenteel intensief door AT&T bestudeerd wordt.



Afbeelding 9

Voor de Europese situatie kan de juistheid van de bovenstaande kostenvergelijking binnenkort aangetoond worden. Er is nog slechts een klein verschil te overbruggen om te bereiken dat FTTL overtuigender de voorkeur krijgt boven koper aansluitingen. Het is te verwachten dat deze situatie binnen een paar jaar bereikt is, met name door kostenreductie-programma's waardoor goedkopere componenten beschikbaar komen als gevolg van grootschalige implementatie.

Er wordt hier niet nader ingegaan op de interface naar de centrale.

Wanneer er geen standaardisatie tot stand komt zullen de leveranciers per land nationale centrale-afhankelijke interfaces moeten ontwerpen. Dat is niet voordelig voor de leverancier van deze FTTL produkten en dus ook niet voor de PTT's. Gelukkig ziet het er naar uit dat de meeste landen in Europa, en dat geldt zeker voor Nederland, Duitsland, Frankrijk en Spanje, de internationale ETSI V5 interface zullen voorschrijven. (ETSI = European Telecommunication Standardization Institute.)

Eén van de aantrekkelijke mogelijkheden bij FTTL is de combinatie van Interactieve en Distributieve diensten over één fiber. Juist omdat de gekozen topologie een "bus" is met passieve splitters leent deze technologie zich bij uitstek voor distributieve diensten zoals CATV. PTT Telecom doet daarmee thans praktijkervaring op in het "Sloten"-project in Amsterdam.

Toch zijn er ook nog wat problemen te signaleren. Als proef kan "Sloten" technisch geslaagd genoemd worden; de technische oplossing is echter te duur (FM set-top box nodig).

Voorts blijkt in de praktijk, evenals in de meeste Europese landen, dat de combinatie IS/DS in de richting van de gebruiker vaak niet één op één is. Daarvoor zijn verschillende redenen aan te geven, onder andere de reeds genoemde nationale regelgevingen ten aanzien van CATV en bestaande coax netwerken. Voorts lopen de technische mogelijkheden voor een CATV AM oplossing bij FTTH niet geheel synchroon met de huidige IS mogelijkheden. Zo blijken er toch wel factoren aanwezig te zijn die tot enige voorzichtigheid nopen.

Men ziet daarom dat verschillende PTT's het IS en DS netwerk enigszins gescheiden houden voor wat betreft implementatietermijn en prioriteitsstelling.

Dit betreft een systeem waarbij zowel Home-, Building- als Curb scenario's op een PON aangesloten zijn. De systemen die thans in ontwikkeling zijn zullen in principe deze configuraties aankunnen.

In de meeste Europese landen wordt gedacht aan de volgende capaciteiten: de kleine Home ONU zal 2 tot 4 aansluitingen kennen, terwijl een tweede type voor grotere wooneenheden een capaciteit van 10 à 15 POTS aansluitingen zal hebben. Er zullen duidelijke verschillen zijn in de constructie van de twee typen. De kleine ONU die in grote hoeveelheden geproduceerd zal worden, is geoptimaliseerd en wordt ondergebracht in een speciaal ontworpen kastje.

De grotere ONU's zijn in principe voorzien van inschuifbare servicekaarten voor de verschillende diensten; daarmee wordt dus meer de traditionele rekmontage gevolgd.

Het derde type wordt toegepast voor geconcentreerde woonwijken, waar curb oplossingen wellicht de voorkeur verdienen. De capaciteit van deze ONU's is 30 à 60 abonnees. Grotere capaciteiten lenen zich meer voor andere oplossingen.

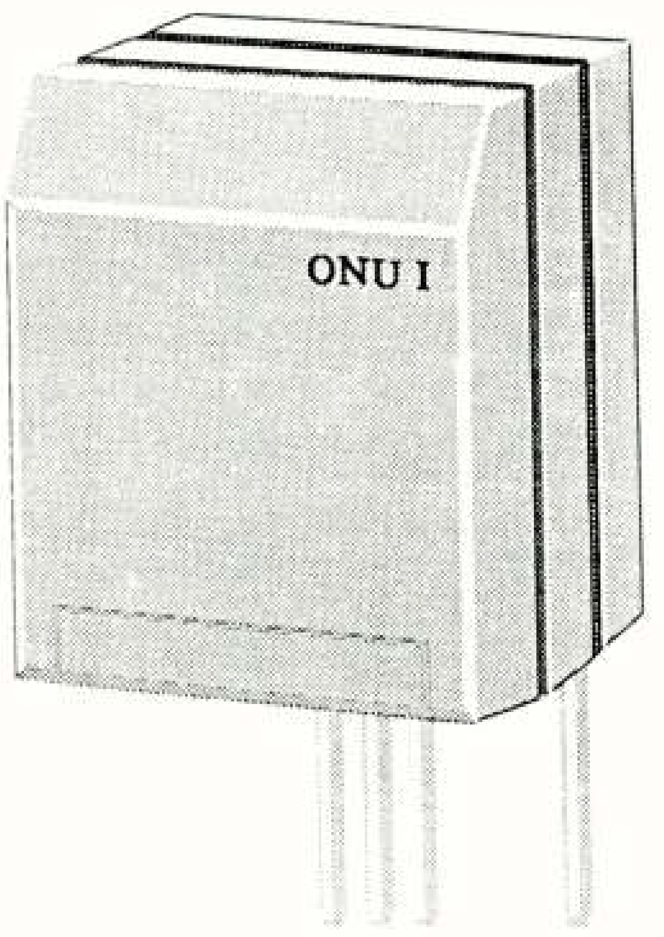
Zoals in afbeelding 9 is getekend geschiedt de Distributieve dienst via een overlay netwerk. Slechts het onderhoud (alarmering) wordt via het interactieve net teruggemeld, zodat toch het DS gedeelte op afstand onderhouden kan worden.

De integratie vindt voornamelijk plaats door het gebruik van een gemeenschappelijke kabel. Ook valt op, dat in dit geval de overgang van glasvezel naar koper/coax bij voorkeur op hetzelfde punt plaatsvindt.

Het schema uit afbeelding 9 mag beschouwd worden als een generiek model, waar de meeste PTT's in Europa mee kunnen instemmen. Het spreekt voor zich dat verschillende zaken, zoals golflengte keuze, "delay" eisen etc. in internationaal verband besproken worden, met name binnen ETSI. Mede als gevolg van de vele praktijkproeven krijgt FTTL langzamerhand vorm.

In afbeelding 10 is een mogelijke afbeelding aangegeven van een kleine geoptimaliseerde ONU. De capaciteit van maximaal 4 POTS aansluitingen kan gerealiseerd worden binnen de afmetingen van 25 x 20 x 10 cm^3. De ONU bevat naast de elektronica/optica voor de interface, ook een powersupply en back-up batterijen.

Het is bekend dat vele bedrijven en instituten zich bezighouden met optische distributiesystemen voor CATV. In dit verband is het schema van afbeelding 11 relevant.



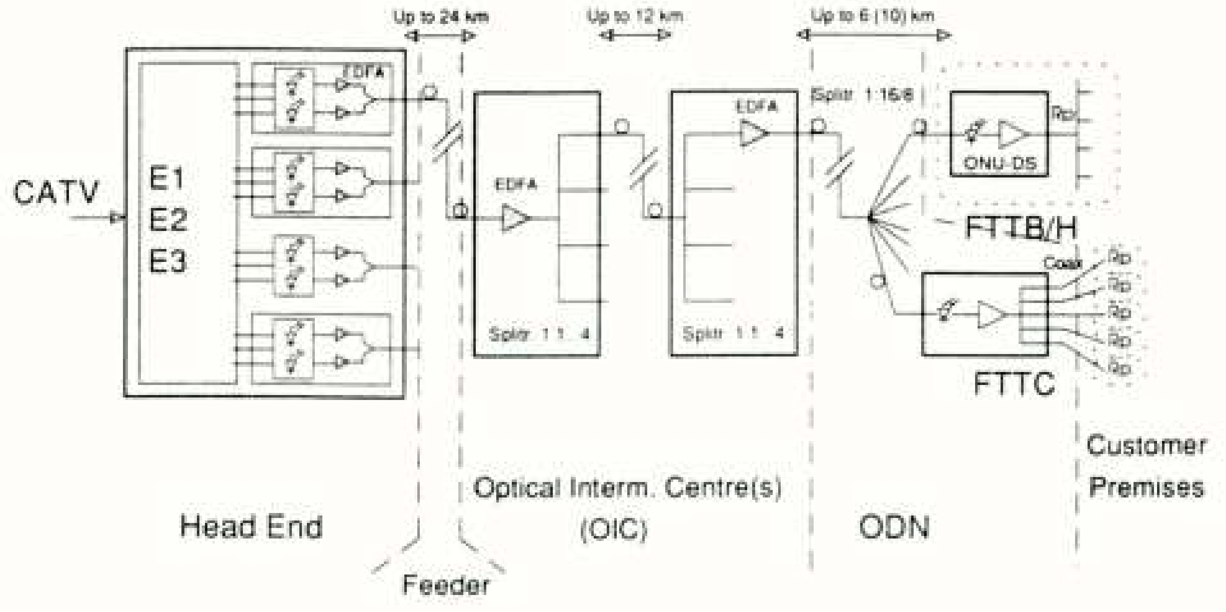
Afbeelding 10

FITL trials

Netherlands	FTTH trial Sloten
United Kingdom	Bishop Stortford trials FTTC and FTTH
France	Molene, Annecy, Bastia (1995)
Germany	Several OPAL trials, most FTTC
Spain	Madrid, Barcelona

Afbeelding 12

Distributive System



Afbeelding 11

Het toont een technische oplossing met behulp van Optical Amplifiers. Aan de linkerzijde het Head-End, dan een Intermediate Centre (meestal bij de OLT geplaatst), vervolgens het eigenlijke abonnee netvlak waar het in feite om gaat. Met dit concept zijn afstanden te overbruggen van 40 km bij een genormaliseerde kwaliteit en een bandbreedte tot 860 MHz. Door een juiste keuze van de kanaal-indeling kan de UHF bovenband (V) gebruikt worden voor toekomstige videodiensten (VOD, PPV, etc.), waarbij met behulp van redundantie-codering meer kanalen digitaal kunnen worden verzonden. Het systeem is dus "future proof". Het is een AM oplossing waarbij het laatste gedeelte weer de gebruikelijke coaxiale oplossing biedt in het gebouw. Dit systeem werkt in de aanbevolen golflengte van 1540 nm. Het zou dus in principe over dezelfde glasvezel tesamen met IS geïmplementeerd kunnen worden.

De bovenstaande lijst pretendeert niet compleet te zijn, maar maakt wel duidelijk dat Europa zich opmaakt voor het FITL tijdperk.

De proef in Nederland betreft het reeds genoemde "Sloten"-project van PTT Telecom. Het is een technologisch experiment, waarbij gedurende bijna twee jaar nuttige ervaring is opgedaan met de verwerking van fiber in het abonnee netvlak.

Technische experimenten vindt men overigens in bijna alle landen van Europa.

In Engeland loopt het Bishop Stortford experiment, waar het accent op Curb scenario's ligt. Datzelfde geldt voor de Duitse "OPAL" proeven van de afgelopen jaren. In Spanje lopen twee proeven, waarvan een een curb-opzet heeft en de ander gericht is op building/home.

De experimenten betreffen niet altijd een combinatie van IS en DS. Zo is bijvoorbeeld de Molene proef in Frankrijk een 2 Mbit/s systeem over een PON en bedoeld voor zakelijke klanten. In Annecy zal een proef plaatsvinden waar ook particuliere gebruikers aangesloten worden.

In Frankrijk is het kopernet nog vrij "jong" en er is daarom nog niet veel aandrang om op grote schaal nieuwe fiber kabels in de grond te leggen.

Men kan veronderstellen dat men de tijd neemt; dit kan ook worden afgeleid uit het voornemen tot het inrichten van een FTTH proef die naar verluidt pas in 1995 van start zal gaan.

Zoals reeds werd opgemerkt zullen landen die behoefte hebben aan een nieuw netwerk vermoedelijk de voortrekkers worden van deze nieuwe technieken.

Het oostelijk deel van Duitsland is zo'n gebied. Er worden daar voorbereidingen getroffen om een aanzienlijke hoeveelheid lijnen aan te leggen.

Ook in Oost-Europa zijn er landen die hun voordeel kunnen doen met deze nieuwe systemen, zodra die concurrerend zijn met de gebruikelijke koper oplossingen. In die landen zijn er, zoals bekend, problemen van financiële aard.

Resumerend kan worden gesteld dat de glasvezel zich een definitieve plaats gaat verwerven in het abonnee netvlak.

Voorts kan worden geconcludeerd dat de mogelijkheden die de glasvezel biedt met betrekking tot **diensten** volop in discussie zijn en dat de remmende factoren wellicht gevonden moeten worden in het organisatorische of het regulerende vlak bij de huidige telecommunicatie dienstverleners.

Dit artikel is een bewerking door de redactie van een sheet-presentatie tijdens de NERG-werkvergadering onder het thema "Glasvezels in het aansluitnet".

Voordracht gehouden tijdens de 413e werkvergadering.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP

413e werkvergadering

UITNODIGING voor de lezingenmiddag van het NERG op donderdag 10 juni 1993 bij PTT Research, Dr. Neher Laboratorium, St. Paulusstraat 4, Leidschendam.

THEMA: GLASVEZELS IN HET AANSLUITNET

PROGRAMMA:

13.15 - 13.30 uur:	Ontvangst
13.30 - 14.10 uur:	Glasvezels in het Nederlandse aansluitnet **DR.IR. N.H.G. BAKEN,** PTT Telecom, Den Haag
14.10 - 14.50 uur:	De technologische opties **IR. E. DRIJVER,** PTT Research, Leidschendam
14.50 - 15.30 uur:	Fiber-in-the-Loop en de Europese markt **ING. F. JAEGER,** AT&T Network Systems, Huizen
15.30 - 16.00 uur:	Thee
16.00 - 16.40 uur:	ATM in het aansluitnet **IR. M.J.M. VAN VAALEN,** PTT Research, Leidschendam
16.40 - 17.20 uur:	De coherente toekomst **DR.IR. G.F.G. DEPOVERE,** Philips Research, Eindhoven

Aanmelding voor deze middag dient te geschieden vóór 3 juni aanstaande door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 70 cent.

Het aantal deelnemers is beperkt tot 100. Tijdstip van ontvangst van aanmelding is beslissend voor deelname. Als blijkt dat u wegens overtekening niet kunt deelnemen, ontvangt u hierover van ons bericht.

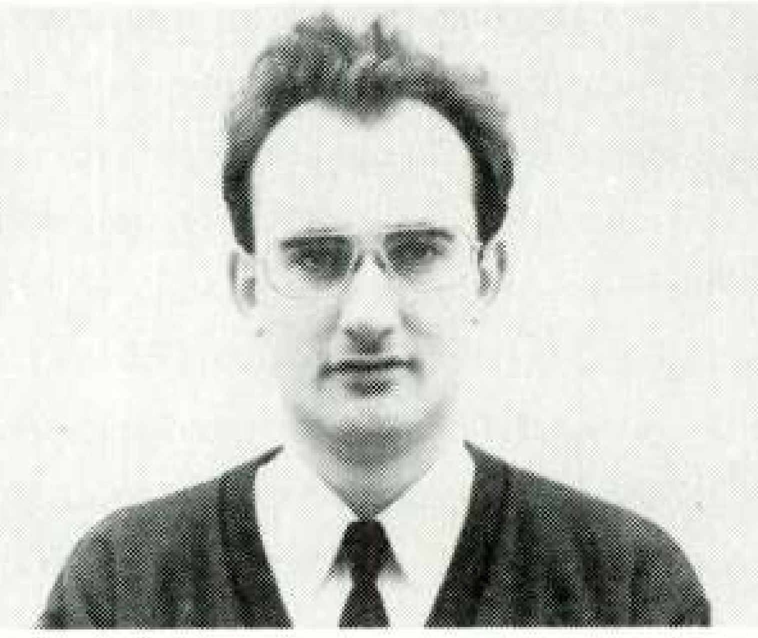
Leden van NERG en studenten hebben gratis toegang. De kosten van deelname voor niet-leden bedragen f 15,00. Betalingen dienen vóór 3 juni te zijn ontvangen op girorekening 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.

Namens het NERG,
Prof.Ir. A.C. van Bochove
Ir. P.R.J.M. Smits, programmacommissaris

Rotterdam, mei 1993.

DE COHERENTE TOEKOMST

Dr. Ir. G.F.G. Depovere
Philips Research
PO Box 80000, 5600 JA Eindhoven



The coherent future

In the first section of this article, the basic principles of coherent optical communication systems are briefly reviewed and compared with wavelength division multiplexed (WDM) systems, using direct-detection technology.

The distribution of digital video signals has been considered as one of the first applications for coherent multi-channel (CMC) techniques. In the framework of the RACE I project R1010 "Coherent Multi-Channel" such a demonstration system was developed.

At this moment, the advantage of improved system sensitivity, inherent to coherent techniques, has become less important, due to the advent of optical amplifiers. In the RACE II project R2065 "Coherent Optical systems implemented for Business traffic Routing and Access" (COBRA), the other advantages of coherent techniques are emphasized. A network demonstrator is being designed, where the cross-connect functionality, which takes place in so called reconfigurable nodes (RENO's), is shifted to the optical domain.

We do believe that the future of coherent technology lies in the unique combination of a densely spaced optical multicarrier network, with the tunability offered by coherent receivers. This results in a network performance, with respect to capacity as well as to functionality, obtainable by other techniques only at an extremely high cost.

---

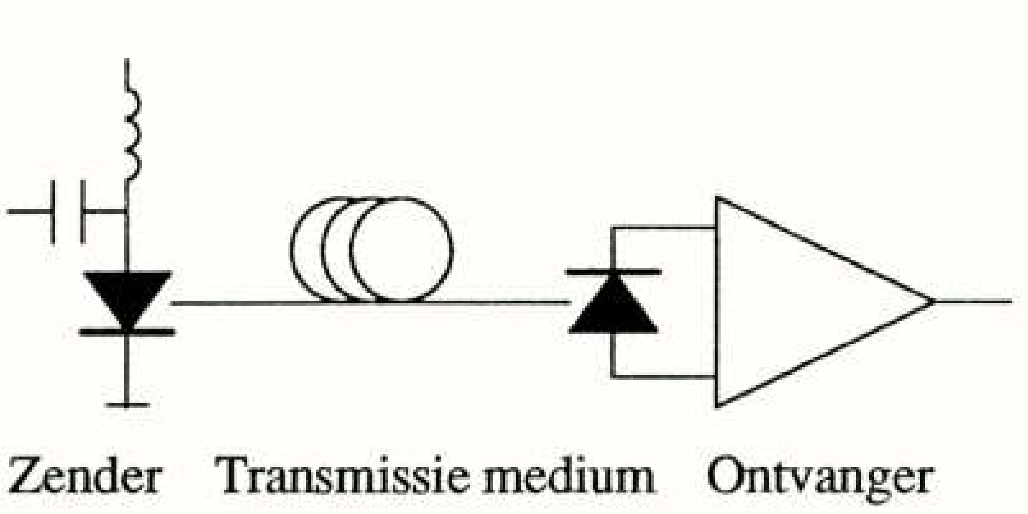
1. INLEIDING

Een optisch communicatiesysteem is in principe opgebouwd uit drie delen: een zender, een transmissie medium en een ontvanger. In de zender wordt, meestal met behulp van een halfgeleiderlaser, een optisch signaal gegenereerd en op de een of andere manier met een elektrisch datasignaal gemoduleerd. Het transmissiemedium bestaat voor nagenoeg alle breedband optische communicatiesystemen uit monomode optische vezel. De verzwakking van dergelijke glasvezels bedraagt typisch 0.2dB/km voor een golflengte in de buurt van 1550nm. In de ontvanger wordt tenslotte het elektrisch datasignaal teruggewonnen.

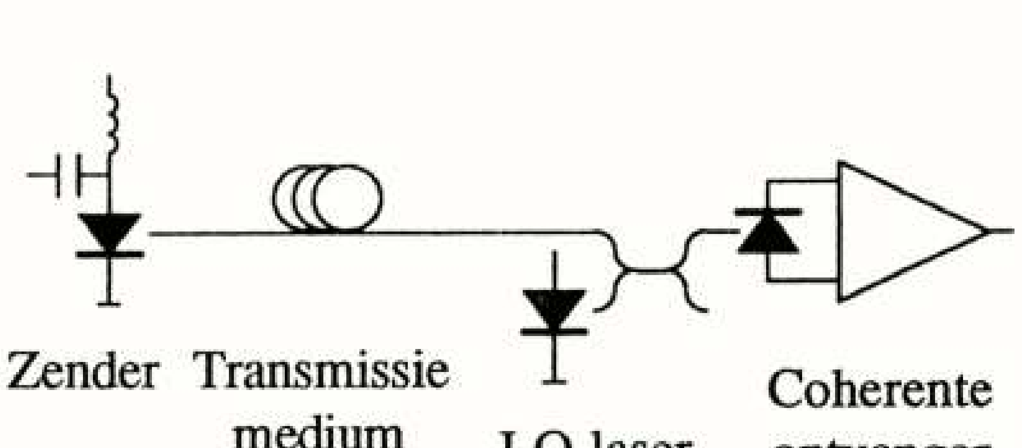
In zijn meest eenvoudige vorm geeft het hierboven beschreven systeem aanleiding tot een zogenaamd intensiteit gemoduleerd directe detectie (IM/DD) systeem, zoals voorgesteld in Fig. 1. De term IM betekent dat het elektrisch datasignaal, de intensiteit (niet de amplitude) van het optisch signaal lineair moduleert. De term DD slaat op het feit dat het signaal onmiddellijk gedetecteerd wordt, zonder voorafgaande frequentieconversie of gesofistikeerde signaalbewerking.

Gebruik makend van deze techniek kunnen reeds meerkanaals systemen gebouwd worden. Hiertoe wordt het optisch vermogen van een aantal lasers, met verschillende golflengte, via een optische koppelaar in een enkele optische vezel gekoppeld. Aan de ontvangstkant kunnen, door middel van een optisch filter, de verschillende datasignalen gescheiden worden. Het aantal mogelijke kanalen wordt onder andere bepaald door de breedte van het optisch filter.

Nagenoeg alle huidige optische systemen zijn van het IM/DD type. Als we echter de vergelijking maken met de elektrische communicatiesystemen, dan blijkt dat vanaf 1930 het heterodyne principe werd toegepast. Dit gaf een extra impuls aan nieuwe analoge en digitale modulatietechnieken, zoals amplitude-, fase- en frequentiemodulatie en respectievelijk "Amplitude Shift Keying" (ASK), "Phase Shift Keying" (PSK) en "Frequency Shift Keying" (FSK). Het is duidelijk dat zowel de fase als frequentie informatie van een optische draaggolf niet kan teruggewonnen worden door directe detectie. Het is dus noodzakelijk om, naar analogie met de elektrische communicatie, het ontvangen signaal te mengen met het signaal van een



Figuur 1: Intensiteit gemoduleerd, directe detectie systeem.



Figuur 2: Heterodyne detectie systeem.

lokale oscillator (LO). Op deze manier wordt een midden frequent signaal gevormd, dat zowel de amplitude als de frequentie als de fase informatie van het uitgezonden signaal bevat. In een heterodyne ontvanger wordt dit mengsignaal versterkt en gedetecteerd, zoals voorgesteld in Fig. 2.

Een eerste voordeel van coherente technieken is de toename van de systeemgevoeligheid. Dit is het minimaal noodzakelijk optisch vermogen aan de ingang van de ontvanger, dat een vooropgestelde foutenkans veroorzaakt (meestal 10^{-9}). Deze gevoeligheid neemt typisch zo'n 10 tot 20dB toe als gevolg van enerzijds het heterodyne detectie principe en anderzijds het meer efficiënte modulatie en demodulatieschema. Coherente technieken bieden dan ook, als enige, de mogelijkheid om bij 1300nm of 1550nm in de buurt te komen van de fundamentele gevoeligheidslimiet: de zogenaamde "shot noise limit". Dit voordeel is vooral belangrijk voor onderzeeverbindingen, waar het toepassen van optische versterkers heel moeilijk is.

Een tweede voordeel van coherente technieken is de verhoging van de frequentieselectiviteit. Door het gebruik van een smal elektrisch middenfrequent filter kan de kanaalafstand in een "Coherent Multi-Channel" (CMC) systeem veel kleiner gekozen worden dan in een "Wavelength Division Multiplexed" (WDM) systeem, waar optische filtering moet worden toegepast.

De mogelijkheid om de golflengte van de LO-laser te veranderen, en op die manier een andere zender te ontvangen, is een derde belangrijke eigenschap van coherente systemen. Door hiervan gebruik te maken kan de flexibiliteit van optische netwerken in belangrijke mate toenemen, zoals verder zal worden beschreven.

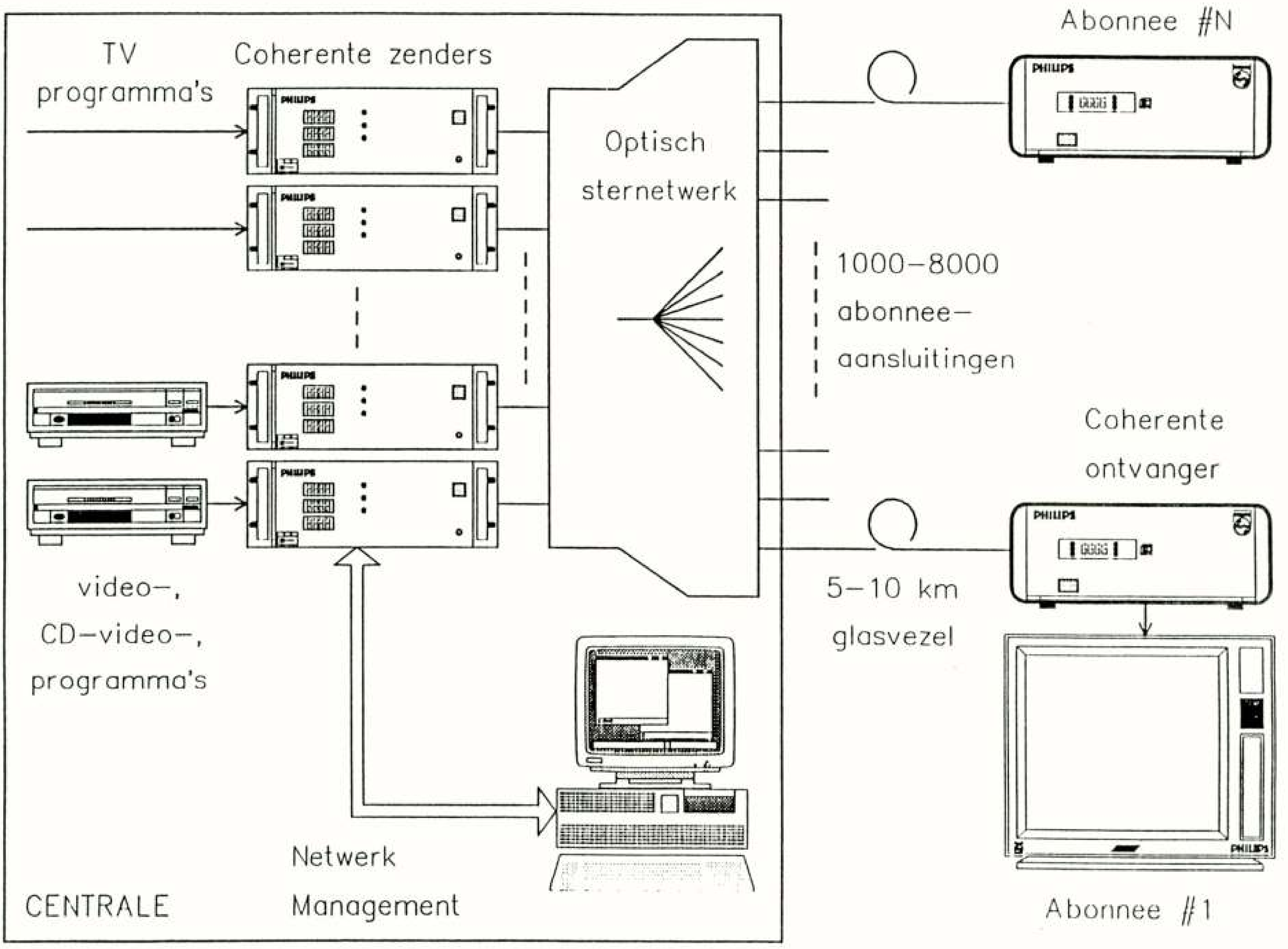
Tenslotte, door aangepaste filtering van het middenfrequent signaal, kan gecompenseerd worden voor de overdracht van het transmissiekanaal ten gevolge van bijvoorbeeld chirpeffecten.

Als belangrijkste nadelen van een coherent systeem kunnen de complexiteit van zowel de zend- en LO-laser als van de ontvanger vermeld worden. In een coherente ontvanger moet bijvoorbeeld ook met de polarisatie van het ontvangen signaal rekening worden gehouden.

2. COHERENTE TECHNIEKEN VOOR TV-DISTRIBUTIE

In een distributie systeem wordt het vermogen van een zender naar een groot aantal abonnees verdeeld. Dit kan gebeuren door middel van een optische ster, die uit een groot aantal optische 50:50 koppelaars bestaat. In de centrale bevinden zich een aantal optische zenders, die telkens met een ingang van deze ster verbonden worden. Elke uitgang van de ster wordt verbonden met een optische ontvanger die bij een abonnee geplaatst is. Deze ontvanger kan dan een willekeurig digitaal TV-signaal selecteren, door de lokale oscillator laser op het gewenste kanaal af te stemmen. Door de hoge systeemgevoeligheid van een coherente ontvanger is, in een dergelijk netwerk, een grote splitsingsverhouding mogelijk. Er kunnen dus veel abonnees door eenzelfde centrale bediend worden.

In het kader van het Europese RACE-1010 project is een der meest geavanceerde CMC-demonstraties ter wereld opgezet, binnen een consortium van grote Europese bedrijven [1]: het Britse GEC-Marconi, het Duitse Siemens en Heinrich Hertz Institut, het Franse LEP ("Laboratoires d'Electronique Philips") het Belgische IMEC (Inter universitair Micro Elektronica Centrum) en de Nederlandse Philips Research (die optreedt als projectleider). Er werd een tien kanaals demonstratiesysteem ontwikkeld, zoals voorgesteld in Fig. 3. Dit systeem was opgesteld bij GEC-Marconi Materials Technology in Caswell (Engeland) van juni 1991 tot december 1992. Het voornaamste doel was te laten zien dat het mogelijk is om grote CMC-netwerken samen te stellen met compatibele apparatuur, geleverd



Figuur 3: CMC demonstratie systeem.

door verschillende producenten. Er werden tien coherente FSK-zenders [2] en ontvangers [3] voor 140MBit/s gebouwd door drie verschillende partners. Alleen de signalen op de optische interfaces tussen de glasvezel en de zender of ontvanger werden vooraf vastgelegd. Elke partner was dus vrij in de keuze van het ontvanger of zender concept. Een speciaal beheers- en controlesysteem zorgde voor het opstarten, de bewaking en het regelen van de optische frequenties van alle zenders. Tijdens het opstarten werden de zenders op hun vaste golflengtes gezet. Via een IEEE-488 bus werden daarna, indien nodig, de noodzakelijke commando's gegeven om de golflengte te corrigeren. Faalde een zender, dan werd hij automatisch afgeschakeld, waarna een "stand-by" zender naar de vrijgekomen golflengte werd gedirigeerd. Het optische sternetwerk, in de centrale van het RACE 1010 demonstratiesysteem, had een capaciteit van 256 abonnees, maar was uitbreidbaar naar 2048 abonnees. Aangezien de CMC-ontvanger in deze demonstratie als consumentenprodukt bedoeld was, werd aan de gebruiksvriendelijkheid de nodige aandacht geschonken. In de Philips CMC-ontvanger fungeerde een standaard afstandsbediening als gebruikersinterface naar zowel het TV-toestel als naar de CMC-ontvanger. Na het aanschakelen van de ontvanger werd een automatisch "start-up" programma gestart, dat een kanaal opzocht teneinde de eigen LO-frequentie te calibreren. Deze procedure duurde ongeveer 7 seconden. Eenmaal gecalibreerd nam het veranderen van kanaal ongeveer 100 tot 200 milliseconden in beslag. De gevoeligheid van de Philips-ontvangers lag in de buurt van -50dBm.

3. COHERENTE TECHNIEKEN VOOR OPTISCHE "CROSS-CONNECT" SYSTEMEN

Zoals reeds in de inleiding is aangegeven, heeft door de opkomst van optische versterkers het voordeel van een verhoogde systeemgevoeligheid bij coherente systemen aan belang ingeboet. Directe detectie ontvangers, voorafgegaan door een dergelijke versterker, vertonen een gevoeligheid die dicht in de buurt komt van een coherente ontvanger. De belangrijkste drijfveer om coherente technieken toe te passen is nu ongetwijfeld de toename in flexibiliteit, als gevolg van de golflengte afstembaarheid van de heterodyne ontvanger. Een typisch voorbeeld hiervan is een optisch "cross-connect" netwerk, dat gebruik maakt van zogenaamde herconfigureerbare knooppunten: "REconfigurable NOdes" (RENO's). Een dergelijk netwerk zal als demonstratie systeem binnen het RACE II project COBRA "Coherent Optical systems implemented for Business traffic Routing and Access" ontwikkeld worden [4]. Het consortium bestaat uit dezelfde partners als het CMC project, exclusief het LEP en inclusief een aantal potentiële gebruikers van coherente technologie: de Engelse BBC, de Nederlandse PTT en de Portugese CET.

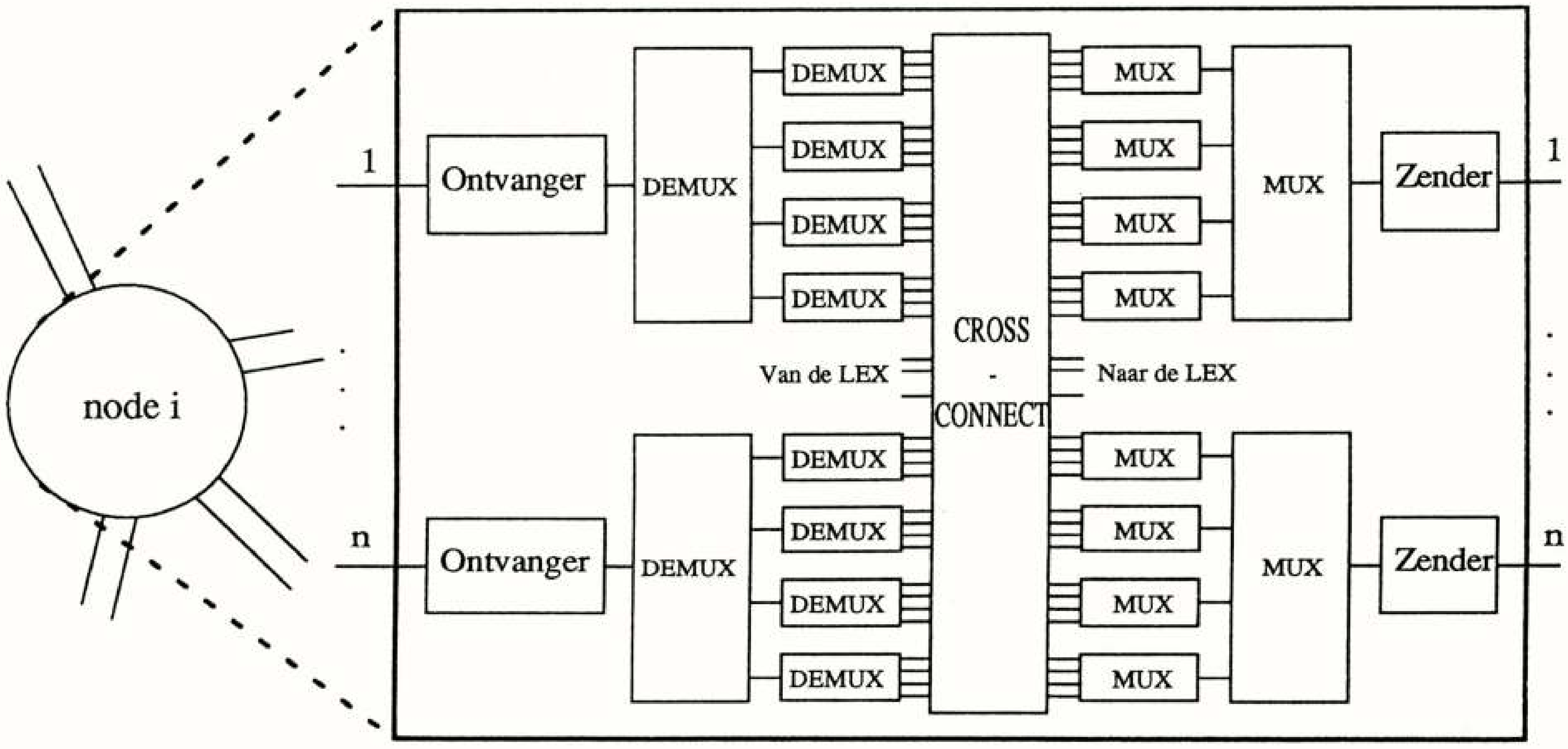
Op het hoogste netwerkniveau binnen de "Synchronous Digital Hierarchy" (SDH) kunnen dergelijke knooppunten toegepast worden [5]. Door de CCITT werd SDH gespecificeerd als de standaard voor toekomstige telecommunicatie netwerken. Deze netwerken bestaan uit knooppunten die bijvoorbeeld door STM-16 links ("Synchronous Transfer Mode - level 16" 2.5GBit/s) met elkaar verbonden zijn. Dergelijke knooppunten zijn meestal gesitueerd in een grote stad, en zijn via optische links verbonden met een locale centrale "Local EXchange" (LEX).

In huidige implementaties van dergelijke netwerken wordt directe detectie technologie toegepast. In een knooppunt wordt de ontvangen informatie eerst gedemultiplexed naar een lager STM-niveau, meestal naar STM-4 (622MBit/s) en vervolgens naar STM-1 (155MBit/s), zie Fig. 4. Pas daarna wordt de ontvangen data, in combinatie met data van de LEX, met behulp van elektrische "cross-connects" en "add-drop" multiplexers verder verwerkt. Tenslotte wordt de data opnieuw gemultiplexed tot een STM-16 signaal.

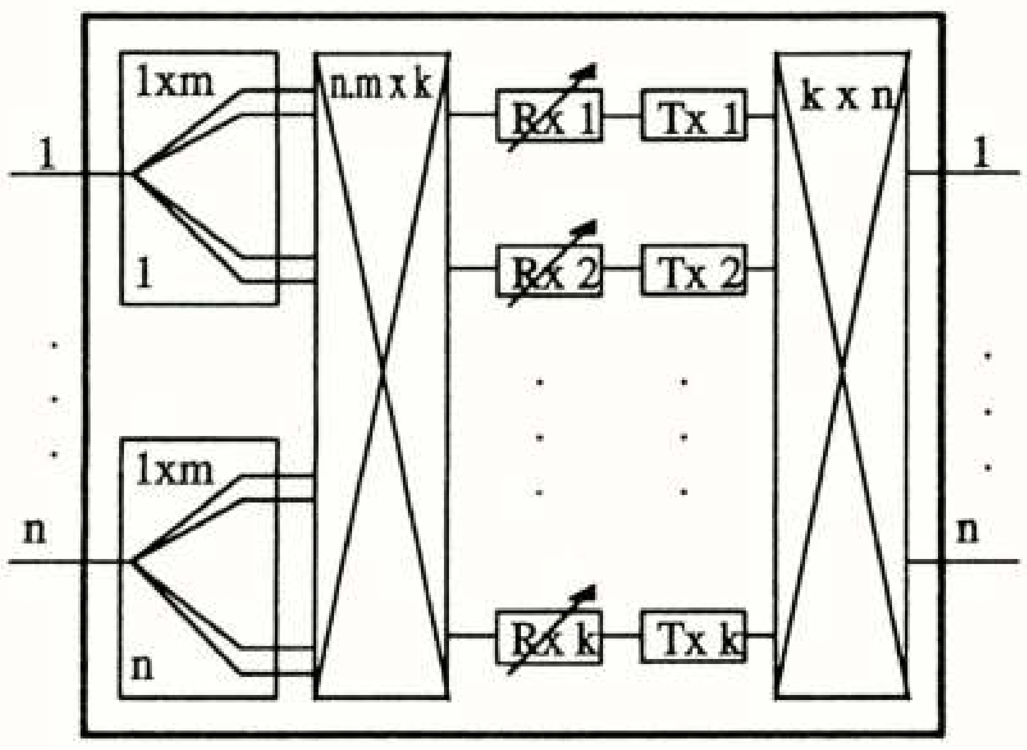
De knooppunten van het demonstratie netwerk, dat binnen COBRA ontwikkeld wordt, maken gebruik van coherente technologie.

Het te ontwikkelen netwerk is opgebouwd uit drie RENO's en zal in totaal met vier coherente 2.5GBit/s links uitgerust zijn.

Een dergelijke RENO is in een vrij algemene vorm voorgesteld in Fig. 5. Een set van "N" golflengtes wordt aan het volledige netwerk toegekend, dat bestaat uit "n+1" RENO's. Elke RENO is verbonden door maximaal "n" paren optische vezels (een voor elke communicatie richting). Elke ingangsvezel wordt gekoppeld aan een "1 X m" optische splitser, teneinde de ontvangst van "m" kanalen ($m \leq N$) toe te laten. Aangezien de kans dat alle kanalen "n.m" gelijktijdig gebruikt worden verwaarloosbaar klein is, wordt een kleiner aantal "k" ontvanger-zender-combinaties geïmplementeerd ($k \leq n.m$). Uiteraard kunnen reserve ontvanger-zender-combinaties opgesteld staan, om aan een tijdelijke vraag naar extra capaciteit te kunnen



Figuur 4: IM/DD technologie toegepast in een knooppunt.



Figuur 5: Coherente technologie toegepast in een RENO.

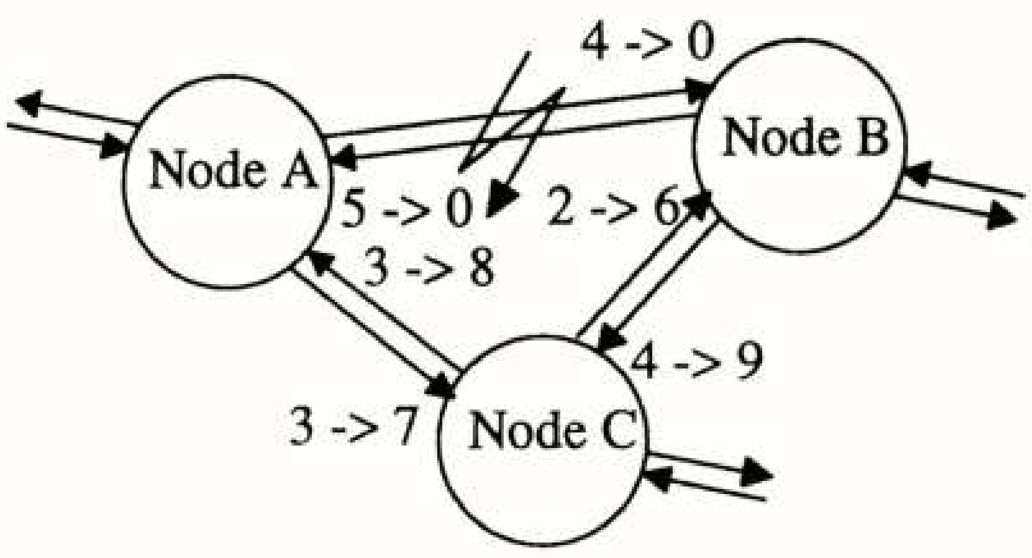
voldoen. De zenders hebben een vaste golflengte, terwijl de onvangers afstembaar zijn. Dit betekent dat zowel coherente als WDM technieken gebruikt kunnen worden. Een optische schakelaar wordt gebruikt voor de selectie van de ingangsvezel. In het geval dat het aantal ontvanger-zender-combinaties groter is dan het aantal golflengtes (k > N) moet er bij de uitgang geschakeld worden, en is het hergebruik van een aantal golflengtes noodzakelijk. In het andere geval, en indien er geen speciale eisen gesteld worden met betrekking tot veiligheid en geheimhouding, is een passieve optische koppelaar voldoende.

In een hybride uitvoering kan een elektrische schakelaar, omgeven door (de)multiplexers, tussen een aantal ontvangers en zenders geplaatst worden, teneinde "cross-connecting" en verbinding naar de LEX op een lagere bitsnelheid mogelijk te maken. Aangezien het grootste deel van de "cross-connecting" optisch gebeurt, kan de hoeveelheid elektrische hardware sterk beperkt worden. Een klassiek knooppunt, waar directe detectie technologie toegepast wordt, kan eenvoudig uitgebreid worden tot een herconfigureerbaar knooppunt. Met betrekking tot de introductiestrategie is het belangrijk dat de elektrische "cross-connect" en (de)multiplexer hardware verder gebruikt kan worden na deze uitbreiding. Dit verlaagt dus de noodzakelijke investeringskosten.

Deze aanpak heeft als belangrijk voordeel dat het aantal kanalen, voor een bepaalde vezelverbinding, snel kan worden aangepast aan de actuele intensiteit van het dataverkeer. Deze flexibele toekenning van de hardware, gebruik makend van de statistische natuur van de informatiestroom, is zeer kosten effectief. Het aantal noodzakelijke kanalen voor normaal gebruik kan bepaald worden door middel van standaard netwerk planning technieken.

In de praktijk zal een aantal knooppunten aanvankelijk maar met een klein aantal ontvanger-zender-combinaties uitgerust zijn. Afhankelijk van de evolutie van het dataverkeer op lange termijn, kan uitbreiding noodzakelijk worden. Op eenvoudige wijze kunnen dan extra modules (bestaande uit een optische schakelaar, een afstembare ontvanger en een zender) worden toegevoegd, op voorwaarde dat de optische splitters en koppelaars vanaf het begin vodoende ruim werden gedimensioneerd. Dit kan zo doorgaan tot het aantal ontvanger-zender-combinaties gelijk wordt aan het aantal golflengtes, en er dus extra golflengtes aan het netwerk moeten worden toegekend.

De reserve apparatuur, die bedoeld is om pieken in het dataverkeer op te vangen, kan eveneens dienst doen in noodgevallen. Een reserve ontvanger-zender-combinatie wordt dan ingeschakeld, teneinde de onbruikbaar geworden zender of ontvanger te vervangen. Deze procedure wordt "protection switching" genoemd. "Rerouting" is een elegante oplossing in het geval de verbinding tussen twee knooppunten verbroken raakt door bijvoorbeeld een vezelbreuk. Het totale dataverkeer tussen de twee knooppunten (A en B in Fig. 6) wordt omgeleid via een of meer andere knooppunten van het netwerk (knooppunt C in Fig. 6). In Fig. 6 wordt het aantal gebruikte links aangegeven, in elk knooppunt, voor en na de "rerouting". Deze procedure vermijdt de noodzaak tot gebruik van optische schakelaars en tot duplicatie van optische links.



Figuur 6: Rerouting in een RENO netwerk.

4. BESLUIT

We zijn ervan overtuigd dat de toekomst voor coherente technologie in de unieke combinatie ligt, van enerzijds een dicht gestapeld multigolflengte netwerk, en anderzijds de afstembaarheid van coherente ontvangers. Dit resulteert in een netwerkperformance, met betrekking tot capaciteit en functionaliteit, die met andere technieken nauwelijks bereikbaar is, tenzij tegen een extreem hoge prijs.

LITERATUUR

[1] B.T. Debney, A. Thorly, T. Swanenburg, G. Heydt, F. Auracher, "Engineered coherent multichannel system demonstration", OFC '92, Proceedings pp. 284-284, 1992.

[2] C.K. Wong, L.L. Kanters. "Well engineered transmitter laser units designed for optical coherent multichannel transmission experiments", ECOC '91, Paris, Paper We.PS2.9, Proceedings pp. 705-708, 1991.

[3] P.W. Hooijmans, P.P.G. Mols, M.T. Tomesen, K.G. Wright, "Reliability and multichannel behaviour of a prototype CMC receiver", ECOC '91, Paris, Paper ThB10-4, Proceedings pp. 613-616, 1991.

[4] G. Depovere, M. Tomesen, P. Hooijmans, N. Wauters, P. Demeester, "A Flexible Cross-Connect Network using Multiple Optical Carriers"' ECOC '93, Montreux, Paper TuP4.5, 1993.

[5] N. Wauters, D. Vercauteren, P. Demeester, P. Lagasse, G. Depovere, P. Hooijmans, "Introduction in SDH-Networks of Reconfiguration Nodes using Optical Frequency Division Multiplexing", ECOC '93, Montreux, Poster We 3, 1993.

Voordracht gehouden tijdens de 413e werkvergadering.

DIMES SYMPOSIUM
MASTERING COMPLEXITY IN MICROELECTRONICS

OCTOBER 29, 1993

10.00-17.00

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

AULA

SCOPE OF THE SYMPOSIUM

We stand at the eve of a new revolution in Microelectronics, the third. The diversity and complexity of microelectronic circuitry have increased exponentially in recent years and allow applications which were unconceivable just a few years ago: Personal Communication Systems, Instant Video, High Definition Television are now being developed using advanced microelectronic principles. **Mastering Complexity** is one of the central issues, and it makes itself felt at all levels of the microelectronic design trajectory, from system design over the conception of devices, to the elaboration of VLSI technology. The DIMES Symposium presents the ideas of a number of key personalities in the field, as well as contributions of the Institute. It adresses a broad but technical audience interested in information on what will be, more than ever, the central technology of the future.

For all further information please contact the Symposium secretary: Jeanne-Marie Wilking

DIMES
Feldmannweg 17
2628 CT DELFT, the Netherlands
telephone 015-783868
telefax 015-622163

UIT HET NERG

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. H.C. Bleijerveld	L. Davidstraat 16	7558 LN	Hengelo
Drs. A.H.A. Bloemen	Tongelresestraat 309	5642 NB	Eindhoven
Ir. J. Boonstra	Dr. Hermansweg 40	5624 HR	Eindhoven
Ir. G.A.J. van Dooren	Berkenrijs 4	4711 PR	St. Willebrord
Ing. P. Essers	v. Beverningkstraat 19	2582 VB	Den Haag
Ir. G.A.M. Goltstein	Dreijenseweg 12	6861 WK	Oosterbeek
Ir. H.J.F.G. Govaerts	van Goorstraat 41	5014 ME	Tilburg
Ir. M.L. Leine	Korvezeestraat 436	2628 DV	Delft
Ir. A.J. van Schelven	Boerhaavelaan 38	2334 ER	Leiden
Ir. E. Stringer	Spaarne 169	2011 CG	Haarlem

Nieuwe leden

Ir. A. Bonetta	G. Terborghstraat 16	7545 BX	Enschede
Dr.Ir. M. Breeuwer	Ulenpas 53	5655 JB	Eindhoven
Ir. R. Hogervorst	Koperwieklaan 100	2251 NZ	Voorschoten
Ir. J.A.C. Huijs	Pathmosstraat 17	7545 VJ	Enschede
Ir. F.J. Korthouwer	Westerweg 18	1704 PC	Heerhugo-waard
Ir. K.J. de Langen	Nes 1	2141 XB	Vijfhuizen
Ir. M.H. Linde	Westerstraat 124	2613 RL	Delft
Ir. G.L.E. Monna	Heenweg 39	2691 LB	Den Haag
Ing. R. van Nuland	Piet Heinlaan 93	5694 CB	Breugel
Ir. J.E.F. van Osch	Kluizemuntweg 1	9753 BH	Haren
Prof.Dr. Ramjee Prasad	Isaac da Costalaan 12	2624 ZD	Delft
Ir. R.A. Smit	Cartesiusdwarsstr. 57	2518 EX	Den Haag
Ir. A.B. Smolders	Strijland 6	5641 PT	Eindhoven
Dr.Ir.Drs. E.F. Stikvoort	S. van Noijestraat 36	5622 KH	Eindhoven
Ing. B. Stout	Tankenberg 63	2905 RE	Capelle a/d IJssel
Ir. R. in 't Veld	Klaverweide 200	2272 BX	Voorburg
Ir. J.P.M. de Vreede	Rigolettoplantsoen 10	3438 VS	Nieuwegein
Ir. A.T. van Zanten	Waalseweg 29	5711 BM	Someren

Nieuwe adressen van leden

Ir. H.J.M. Bastiaansen	Thijssestraat 493	2521 ZK	Den Haag
Ir. D. Beaufort	Kernstraat 23	2313 EV	Leiden
Ir. J.H.L. van der Bij	Breitnerstraat 25	9718 ML	Groningen
Ir. P. van Dijk	Landheer 56	3171 DD	Poortugaal
Ir. T.W.H. Fockens	Kieftweg 1	7165 BR	Rietmolen
Ir. W.J. Lubbers	Saenredamstr. 80 zwart	2021 ZV	Haarlem
Ing. G.A. Pasma	Dr. Wassenberghstr. 32	9061 AM	Giekerk
Ir. A.C. Reppel	Siberiusplein 272	3122 XA	Schiedam
Ir. R. Slagter	Goudmos 45	2914 AE	Nieuwerkerk a/d IJssel
Ir. J.A.H. Voorthuizen	Chopinrode 77	2717 BJ	Zoetermeer
Ir. L.R.M. Vos de Wael	Bornweg 1A	6721 AB	Bennekom

Conferentie-aankondigingen

PATO

- Regressie-analyse, 29 oktober, 5, 12, 19 november in Eindhoven
- Digitale Signaal Bewerking, 15, 16, 22, 23, 29, 30 november in Eindhoven
- Elektro Magnetische Compatibiliteit, 18, 19, 25, 26 november en 2, 3 december in Eindhoven
- Optische Communicatie, 29, 30 november en 1 december in Eindhoven

Contactadres: Stichting PATO, Prinsessegracht 23, Postbus 30424, 2500 GK Den Haag. Tel: 070-3644957 / Fax: 070-3562722

OPTEL BV

- Cursus: Optische meetmethoden voor industriële toepassingen, 15 t/m 19 november 1993 te Ubbergen

Contactadres: OPTEL BV, afdeling Opleidingen, Tournooiveld 108, 6525 EC Nijmegen. Tel: 080-528800 / Fax: 080-541803

CEI-Europe/Elsevier

Advanced Technology Short Courses on Signal Processing & Recognition Technologies, november 1993, Cambridge, UK:

- RF/MW Circuit Design: linear/non-linear, theory and applications; 15 - 19 november
- RF/High Speed Digital Cicuit Components; 17 - 19 november
- Modern Digital Communications; 15 - 19 november
- Fundamentals of Speech Recognition; 15 - 17 november
- Speech and Channel Coding for Mobile Communication; 15-17 november
- Combined Coding and Modulation Techniques; 18 - 19 november

International Courses in Advanced Technology, january/february 1994, Garmisch Partenkirchen, Duitsland:

- Telecommunication Software Architecture and Design; 31 januari - 3 februari 1994
- Speech and Image Processing; 31 januari - 3 februari 1994
- Frequency-Time Signal Processing; 31 januari - 4 februari 1994
- Analog CMOS Circuit Design for Signal Processing; 31 januari - 4 februari 1994
- Modern Telecommunications; 7 - 10 februari 1994
- Neural Networks and Pattern Recognition; 7 - 9 februari 1994

International Courses in Advanced Technology, Davos, Zwitserland:

- Analog Cicuit Design for Data Converters; 21 - 24 maart 1994
- Far-Field, Compact and Near-Field Antenna Measurement Techniques; 21 - 24 maart 1994
- Modern Military and Commercial Radar; 21 - 25 maart
- Cellular and PCS Communications - The Radio Interface; 21 - 24 maart 1994
- Combined Coding and Modulation Techniques; 24 - 25 maart 1994
- Speech and Channel Coding for Mobile Communication; 28 - 30 maart 1994
- Digital Receivers for Satellite and Mobile Communication; 28 - 31 maart 1994
- Personal Communication Networks; 28 - 31 maart 1994

International Courses in Advanced Technology, Cambridge, UK:

- Satellite Communication Systems; 18 - 22 april 1994
- VSAT Networks; 20 - 21 april 1994
- Mobile Cellular and Microcellular Telecommunications; 20 - 22 april 1994

Contactadres: Mrs. Tina Persson, marketing manager, CEI-Europe, PO Box 910, S-612 25 FINSPONG; Sweden. Tel: +46 122 17570 / Fax: +46 122 14347

Africa TELECOM 94 Exhibition and Forum

Cairo, Egypt, 25 - 29 april 1994

Contactadres: Ms. Suzan Hee-Sook Lee, Project Manager, Africa TELECOM 94 ITU, Place des Nations, CH-1211 Geneve 20, Zwitserland

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 58 – nr. 3 – 1993

Druk: de Witte, Eindhoven.